Zur Technik und Brauchbarkeit der photogeologischen und gefügekundlichen Auswertung im Nordapennin am Beispiel der Zone des Prato - Sillaro - Lineaments Italien

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereichs 24 (Geowissenschaften)
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Osman Omar
Berlin 1977

ZUR TECHNIK UND BRAUCHBARKEIT DER PHOTOGEOLOGISCHEN UND GEFÜGEKUNDLICHEN AUSWERTUNG IM NORDAPENNIN AM BEISPIEL DER ZONE DES PRATO - SILLARO - LINEAMENTS ITALIEN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereichs 24 (Geowissenschaften)
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Osman Omar

Berlin 1977

1. Referent: Prof. Dr. M. Richter

2. Referent: Prof. Dr. F.K. List

Tag der mündlichen Prüfung: 22. 7. 1977

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit steht im Rahmen eines seit 1957 unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. M. RICHTER geführten geologischen Untersuchungsprogrammes im gesamten mediterranen Raum, mit dem Ziel, die geologischen Zusammenhänge der einzelnen Gebirgssysteme aufzuklären.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. M. RICHTER, danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für die tatkräftige Unterstützung und Förderung bei deren Anfertigung am Institut für Geologie der Freien Universität Berlin.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. K. LIST für die bereitwillige Unterstützung bei der photogeologischen Arbeit.

Herrn Dr. C. HEMMER gilt besonderer Dank für seine unmittelbare Betreuung und wertvolle Hinweise sowohl im Gelände als auch im Institut.

Für die Beratung in Fragen der gefügekundlichen Arbeiten möchte ich Herrn Dr. WALLBRECHER und Herrn BURGER herzlich danken.

Herrn Dr. ROLAND, Herrn Dr. POHLMANN sowie Herrn Dipl. Geol. MEISSNER möchte ich an dieser Stelle ebenfalls für ihre wertvollen Hinweise bei der photogeologischen Arbeit danken.
Dem FACHBEREICH 24 gilt mein Dank für die finanzielle Förderung der Geländearbeiten.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549607_0035

INHALTSÜBERSICHT

		SEITE
	VORWORT	
1.	EINLEITUNG	1
1.1.	Lage und Begrenzung der Arbeitsgebiete	1
1.2.	Historischer Überblick	3
1.3.	Stratigraphischer Überblick der Umgebung des PSL	8
1.4.	Vorausgegangene Arbeiten zu PSL	15
1.5.	Kartenunterlagen	18
1.6.	Problemstellung	19
2.	LUFTBILDAUSWERTUNG	21
2.1.	Allgemeines	21
2.2.	Luftbildmaterial und Instrumente	23
2.3.	Vorbereitung und Orientierung von Luftbildern	25
2.3.1.	Orientierung von Luftbildern unter dem Spiegelstereoskop	25
2.3.2.	Erstellung des Festpunktnetzes	25
3.	LUFTBILDINTERPRETATION	26
3.1.	Quantitative Auswertung	26
3.1.1.	Kluftnetz-Messung	27
3.1.2.	Klüftigkeit und Kluftdichte	33
3.1.3.	Entwässerungsnetz-Messung	33
3.1.4.	Entwässerungsdichte	34
3.1.5.	Korrelation der Richtungsverteilung von Kluft- und Entwässerungsnetzen	35

SEITE

4. ERGEBNISSE DER LUFTBILDINTERPRETATION 37

4.1. Kluftnetz 37

4.1.1. Bereich I (Cantiere-Monghidoro-Einheit) 37

4.1.2. Bereich II (Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL) 38

4.1.3. Bereich III (Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL) 38

4.1.4. Bereich IV (Formazione Marnoso-Arenacea) 43

4.1.5. Bereich V (Prato-Sillaro-Lineament) 43

4.2. Klüftigkeit und Kluftdichte 46

4.3. Entwässerungsnetz 47

4.3.1. Entwässerungsdichte 47

4.3.2. Talsegment-Häufigkeit 47

4.4. Auswertung nach der Methode von RAY & FISCHER 49

5. Korrelation der Richtungsverteilungen 51

5.1. Kluft- und Entwässerungsnetz 51

5.2. Klüfte im Luftbild und im Gelände 62

6. INTERPRETATION DER ERGEBNISSE UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DAS PRATO-SILLARO-LINEAMENT 72

7. BEANSPRUCHUNGSPLAN 84

7.1. Regional 84

7.2. Global 89

8. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE 100

9. RIASSUNTO 103

10. SUMMARY 106

11. LITERATURVERZEICHNIS 109

1. EINLEITUNG

1.1. Lage und Begrenzung des Arbeitsgebietes

Das Arbeitsgebiet liegt im zentralen Teil des Nordapennins und nimmt eine Fläche von etwa 800 km^2 ein. Es umfaßt das Arbeitsgebiet von HEMMER (1971), das Arbeitsgebiet von GENTZ (1970) und das Arbeitsgebiet von GROSCURTH (1971). Die Nordgrenze fällt mit den nördlichen Rändern der Meßtischblätter "Camugnano" und "Monghidoro" zusammen. Das Arbeitsgebiet schließt in diesem Bereich die Gesteine der Cantiere-Monghidoro Einheit ein. Die südliche Grenze bildet der Fluß Sieve und die westliche Grenze der Fluß Setta. Die Ostgrenze fällt mit dem westlichen Rand des Meßtischblattes "Faenze" zusammen (Abb. 1).

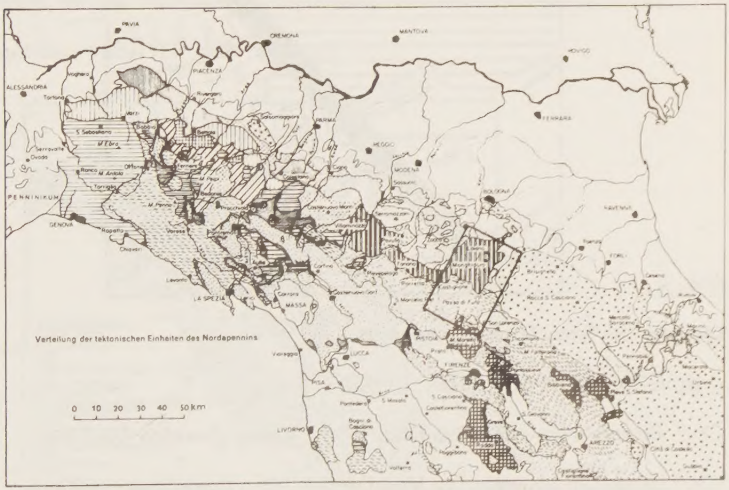


Abb. 1

Lageplan des Untersuchungsgebietes

Verteilung der tektonischen Einheiten des Nordapennins nach K.-J. REUTTER (1968)

Die etwa 5 km breite und 50 km lange Störungszone (Prato-Sillaro-Lineament), die nach dem Sillaro-Fluß benannt wurde, läßt sich von Sillaro-Tal im Nordosten bis in den Raum von Prato im Südwesten verfolgen (Abb. 2).

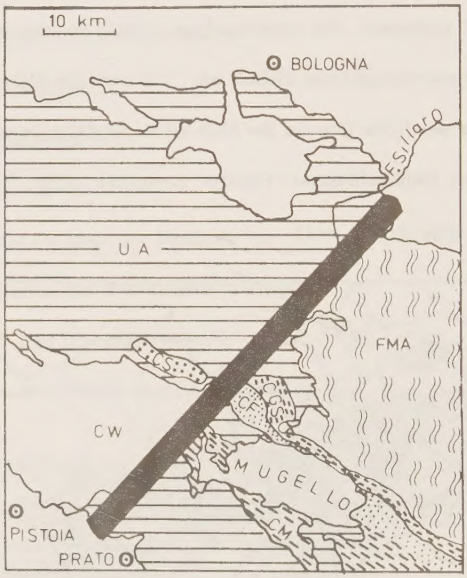


Abb. 2

Lageplan des Prato-Sillaro-Lineaments

nach GROSCURTH & HEMMER (1973)

CF = Cervarola-Sandstein Typ Futa, CGS = Castel-Guerrino-Sandstein, CM = Cervarola-Sandstein Typ Mugello-Süd, CS = Castiglione-Sandstein, CW = Cervarola-Sandstein westlich des PSL, FMA = Formazione Marnoso-Arenacea, UA = undifferenziertes Allochthon.

Das Prato-Sillaro-Lineament (PSL) teilt das Untersuchungsgebiet in zwei Segmente. Westlich des PSL befindet sich die "Cantiere-Monghidoro-Einheit" (UA) und ein Teil der Modino-Cervarola-Einheit (GENTZ 1970, HEMMER 1966, 1971). An der östlichen Seite des PSL liegt ein Teil der Modino-Cervarola-Einheit und zwar Cervarola-Sandstein Typ Futa (GROSCURTH 1971, HEMMER 1971), Castel-Guerrino-Sandstein (GROSCURTH 1971, HEMMER 1971) und die Formazione Marnoso-Arenacea (GENTZ 1970, GROSCURTH 1971).

1.2. Historischer Überblick

Der Nordapennin (der Bereich zwischen Penninikum im NW und den Abruzzen im SE) umfaßt mehrere Faziesräume: Ligurikum, Emilianikum, Toskanikum und Umbro-Markiden (REUTTER 1968, Abb. 3).

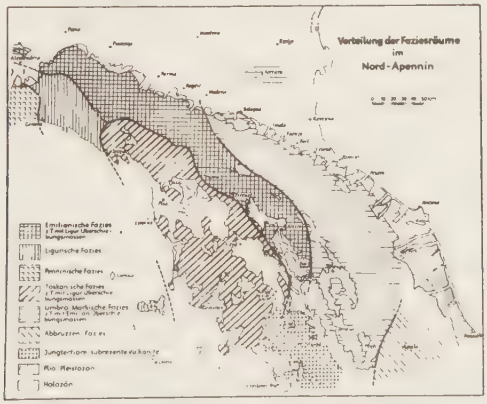


Abb. 3

Verteilung der Faziesräume im Nordapennin nach K.-J. REUTTER (1968)

Über den tektonischen Bauplan des Nordapennins bestehen viele Vorstellungen:

DE STEFANI (1881), LOTTI (1894) und ZACCAGNA (1897) ordneten alle Serien im Nordapennin einem einzigen Ablagerungsraum, dem toskanischen, zu, was eine völlige Autochthoni aller Serien bedeutet. Sie hielten die Existenz einer autochthonen eozänen Abfolge über dem kalkigen Mesozoikum der Apuaner Alpen im Nordapennin als erwiesen, die vom Liegenden zum Hangenden Nummulitenkalke, Macigno, Argille Scagliose und Alberese umfaßt.
Diese Vorstellung wurde bereits von SACCO (1891) verworfen, als er die Argille Scagliose in die Kreide stellte.

STEINMANN (1907) und LAUNAY (1907) postulieren einen alpinotypen Deckenbau und zwar aufgrund der häufigen Überlagerung des Macigno durch die Argille Scagliose. Demzufolge sollten Sedimente eines ligurischen Faziesraumes, von der Thyrrhenis her in Richtung Poebene, über Sedimente eines toskanischen Faziesraumes hingeschoben worden sein. Diese These wurde von vielen Autoren u.a. TILMANN (1926), TEICHMÜLLER (1935), BEHRMANN (1936) vertreten und weiter ausgebaut. Dagegen vermuten ROVERETO (1939) und STAUB (1933, 1951) die Herkunft der ligurischen Decke, aufgrund von Vergenzwechsel im Hochapennin, aus der Poebene bzw. nordöstlichem Teil des Apennins.

Als Bewegungsmotor der Decken wurde von ANELLI (1923) und de WIJKERSLOOTH (1934) nicht mehr ein orogener Schub, sondern die

Schwerkraft angenommen. MIGLIORINI (1948) und MERLA (1952, 1957) entwickelten diese Theorie weiter und zwar im toskanischen Bereich, wo aus derartigen Gleitbewegungen Aufwölbungen ("rughe tettoniche") hervorgerufen werden sein sollten, die durch keilförmige Zerlegung der Erdkruste ("cunei composti ") an einem System von fächerartig angelegten Störungen entstanden sind. Die aus dem ligurischen Bereich kommenden Argille Scagliose seien dann von diesen Aufwölbungen aus weiter nach NE abgeglitten.

Die Einführung des Begriffes "Olisthostrom" durch FLORES (1955) für Residimente und die Arbeit von GÖRLER & REUTTER (1968), über die Entstehung und Merkmale der Olisthostrome, führten zur weiteren Erklärung derartiger Vorgänge.

Die "Ultranappistische Hypothese", vertreten durch P. ELTER, E. GIANNINI, M. TONGIORGI & L. TREVISAN (1960) stellte einen Deckenbau mit vier übereinander liegenden Decken (von unten nach oben: falda Toscana, falda dell'Alberese, falda Ophiolitifera und falda del Flysch ad Elmintoid) dar.

Derartige Ferndecken-Hypothesen und eine so weitreichende Allochthoni der ligurischen Serien wurden von LIPPARINI (1944), DE SITTER (1956) und RICHTER (1960) abgelehnt, und zwar aufgrund des Fehlens der Herkunftsgebiete. Von ihnen wurden die als ligurisch angesehenen Decken im emilianischen Apennin für Para-Autochthon oder Autochthon gehalten. Nach RICHTER (1960) befinden

sich die ligurischen Sedimente heute in der Position des einstigen ligurischen Troges.

Inzwischen ist die M. RICHTER - Schule aufgrund langjähriger stratigraphischer, fazieller und tektonischer Studien zu abweichenden Ergebnissen gekommen. Die vorwiegend aus kretazischen und tertiären Flyschen aufgebauten Gesteinsserien des Nordapennins werden verschiedenen Faziesräumen zugewiesen, die von Südwesten nach Nordosten aufeinander folgen: ligurischer, toskanischer und emilianischer Trog. Deckeneinheiten aus diesen Trögen sollen jeweils auf die östlich anschließenden Tröge und bis auf die umbrische Formazione Marnoso-Arenacea gewandert sein.

K.-J. REUTTER & C.W. SAMES (1964) nahmen aufgrund von faziellen Untersuchungen im ligurischen Apennin die Existenz eines weiteren Troges "Emilianikum" neben dem "Ligurikum" an.

Die Arbeiten von vielen Angehörigen des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Freien Universität Berlin, u.a. KRAMPE (1964), MARKWICH (1964), GOLDBERG (1965), LOSCHKE (1965), SCHULZE (1965), REUTTER (1966), GÜNTHER (1966), STRUENSEE (1967), HEYMANN (1968), SCHLÜTER (1968), FREY (1969), GENTZ (1970), RENTZ (1970), GROSCURTH (1971), HEMMER (1971), zeichneten deutlich die Existenz der emilianischen Fazies und deren Unterschiede zur ligurischen und toskanischen Fazies ab.

Demgegenüber gibt es italienische Autoren, u.a. BALDACCI, ELTER, GIANNINI, GIGLIA, LAZZAROTTO, NARDI & TONGIORGI (1967), die nicht an einen gesonderten emilianischen Sedimentationsraum glauben, sondern weiterhin nur zwei Faziesräume (Ligurikum, Toskanikum) annehmen.

Ein neues Modell des geosynklinalen Raumes bezüglich der mediterranen Kettengebirge wurde von AUBOUIN (1965) entwickelt. Von ihm wurde das Geosynklinalgebiet, von intern nach extern, in Eugeantiklinale, Eugeosynklinale, Miogeantiklinale und Miogeosynklinale geteilt. Nach REUTTER (1966, 1968) könnte dieses Modell, im Falle der Annahme eines emilianischen Außentroges, auf den Nordapennin angewendet werden. Für ihn wären dann die Toskaniden nur als "Leptogeosynklinale" (TRÜMPY 1960) innerhalb einer ligurisch-emilianischen Eugeosynklinale zu bezeichnen, während die Umbro-Markiden die Miogeosynklinale darstellen. In diesem Fall fehlt aber eine Miogeantiklinale zwischen den beiden Gebieten.

Für BOCCALETTI & GUAZZONE (1970) sind "Kontinentaldrift" und "Ocean-floor-spreading" für die paläotektonische Entwicklung des Nordapennins verantwortlich. Bereits 1965 wurde von WUNDERLICH eine Theorie, bezüglich einer Rotation des Nordapennin-Systems, entwickelt. Nach ihm müßte die Rotation des Nordapennin-Systems, mit der Gruppe von Voltri als Zentrum für Bewegungen, stattgefunden haben.

Eine Zusammenfassung der neueren Florentiner Publikationen erschien 1970 als Sonderband (4,3/4) der "Sedimentary Geology". Die Autoren, u.a. SESTINI, entwickelten die Theorie von AUBOUIN (1965) weiter, indem sie die Geosynklinalentwicklung des Nordapennins in ein eu-, mio-, spät- und post-geosynklinales Stadium einteilten. Hier wird, wie bei WUNDERLICH (1967), ein kontinuierliches Wandern der Flyschfazies vom internen in den externen Bereich der Geosynklinale ("Orogene Welle") angenommen.

1.3. Stratigraphischer Überblick der Umgebung des PSL

Auf eine ausführliche stratigraphische Beschreibung der im folgenden kurz charakterisierten stratigraphischen und tektonischen Einheiten wird verzichtet, da sie von vielen vorangegangenen Bearbeitern ausführlich vorgenommen wurde (TILMANN 1929, GÜNTHER 1966, REUTTER 1966, 1968, AMADESI 1967, BALDACCI et.al. 1967, STRUENSEE 1967, HEYMANN 1968, BORTOLOTTI et.al. 1970, GENTZ 1970, GROSCURTH 1971, HEMMER 1971, RENTZ 1971 u.a.).

Die im Untersuchungsgebiet in Frage kommenden tektonischen Einheiten sind nachfolgend kurz beschrieben:

1) Die Cantiere-Monghidoro-Einheit (Emilianiden II)

Der Name dieser Einheit wurde von HEYMANN (1968) vorgeschlagen. Die Cantiere-Monghidoro-Einheit streckt sich von Passo della Raticosa bis zum

Secchia-Tal. Im SW überlagert sie die Modino-Cervarola-Einheit und im NE die Formazione Marnoso-Arenacea.

Die Gesteine dieser Einheit wurden als allochthone Emilianiden zusammengefaßt (HEYMANN 1968, GENTZ 1970, HEMMER 1971, u.a.). Sie lassen sich nach ihrer lithologischen Ausbildung in drei Komplexe unterscheiden:

I. Molasse-Komplex (M. - Eozän - Burdigal)
---------- Diskordanz ----------
II. Alberese - Komplex (Turon - Paläozän)
III. Basis - Komplex (O. - Jura - Turon)

Der Basis-Komplex zeichnet sich durch die disharmonische Faltung, eine Schuppentektonik und z.T. auch durch diapirische Bewegungen aus. Im O. - Jura herrschte eine pelagische Kalkfazies (Majolica, Radiolarite) vor. An der Grenze Jura / Kreide folgte eine eugeosynklinale Sedimentation mit Tonschiefern und Ophiolithen. Danach folgte eine ähnliche Fazies (Buntschiefern), die von häufigen Flyschartigen Bildungen (Grauwacken) verdrängt wird.

Der Alberese - Komplex ist durch einen mächtigen Kalk-Mergel-Flysch charakterisiert. RENTZ (1971) konnte zwei verschiedene Alberese Typen unterscheiden:

a) Cassio-Alberese: ist in den nördlichen und nordöstlichen Regionen des Nordapennins zwischen Tortana und Scrramazzoni als einheitlicher Faziestyp weit verbreitet.

b) Cantiere-Alberese: sie erstreckt sich zwischen dem Secchia-Tal und dem Passo die Raticosa (ca. 70 km lang). Sie unterscheidet sich von der Cassio-Alberese grundsätzlich durch die dunklen Farben des Materials sowie durch das häufige Auftreten von Glimmersandsteinen und splittrigen Kalkmergeln.
Diskordant über den gefalteten Alberese-Komplex folgt der Molasse - Komplex mit einer Mächtigkeit von etwa 1500 m.

2) Modino - Cervarola - Einheit (Emilianiden I)

Aufgrund des von REUTTER & SAMES (1964) gefundenen emilianischen Ablagerungsraumes konnten viele nördlich der Hauptkette gelegene, ehemals als ligurisch bezeichnete Einheiten jetzt diesem neuen Sedimentationsraum zugeordnet werden. Damit entfiel die bis dahin erforderlichen beträchtlichen Überschiebungsweiten der ligurischen Einheiten.

REUTTER (1966, 1968) leitete den Namen "Modino - Cervarola - Einheit" von den entsprechenden Flyschsandstein-Vorkommen am M. Modino und M. Cervarola ab. Die Modino-Cervarola-Einheit erstreckt sich von Bobbio (Prov. Piacenza) bis zum Lago di Bolsena. Zu dieser Einheit gehören Gesteinserien, die bisher den toskanischen und ligurischen Einheiten zugeordnet wurden, an. Es konnten folgende Schichtfolgen unterschieden werden (HEMMER 1971 u.a.):

1. Modino - Basisserien : tonig-kalkige Fazies (Neokom - Oligozän)
2. Modino - Sandstein (Oligozän)
3. Pievepelago - Formation : tonig-schiefrige und mergelig-sandige Fazies (Oligozän)
4. Cervarola - Sandstein (O. - Oligozän - U. - Miozän)
5. Sestola - Vidiciatico - Serie / Suviana - Serie : tonig - schiefrige und mergelig-sandige Fazies (U. - Miozän)

Die Modino - Cervarola - Einheit wird durch ausgedehnte Resedimentationsvorgänge tonig-mergeliger Schichtfolgen (im mittleren Kreide und während des gesamten Tertiärs) charakterisiert. Diese Resedimentite (Olisthostrome, FLORES 1959) sind als Produkt submariner Schlammströme anzusehen, die die Normalsedimentation von Turbiditen und pelagischen Mergeln unterbrechen und sie auch teilweise ersetzen können (HEYMANN 1968). Die tiefsten Gesteine dieser Einheit sind Radiolarite, Majolica und Ophiolithe. In der U. - Kreide kamen Argille Scagliose mit Palombino-Kalken zur Ablagerung. Die nächste Schichtfolge bilden dann die O.-Kreide-Alberese. Die direkte Basis des Cervarola-Sandsteins bilden bunte Schiefertone (Scisti Varicolori, östlich des PSL). Über den Cervarola-Sandstein folgt eine Serie aus Olisthostrom-Massen vom Typ der Argille Scagliose (Sestola-Vidiciatico-Serie, O.-Aquitan). Anschließend kommt eine Schichtfolge mit Wechsellagerung von Mergel-Sandstein-Mergel (Suviana-Serie, Burdigal), die mit einem Hangend-Olisthostrom abgeschlossen wird (HEMMER 1966, 1971, STRUENSEE 1967 u.a.) .

2 a) Cervarola-Sandstein westlich des PSL

Dieser Gesteinskomplex besteht aus einer über 2000 m mächtigen Flyschfolge. Er ist überwiegend dickbankig und besteht zum Teil aus grobkörnigen Grauwacken, in die, über große Areale, eine Folge von etwa 20 m mächtigen Feinkonglomerathorizonten eingeschaltet ist. Es handelt sich um 5 Konglomeratbänke, die von M. Petto weg südlich um den M. delle Scalette und M. Calvi herum bis in die Nähe von S. Giorgio ziehen (HEMMER 1966, 1971). Von diesen 5 Bänken lassen sich nur die 3 obersten über weitere Strecken verfolgen.

2 b) Castiglione-Sandstein (O.-Aquitan)

Der 12 km lange und 4 km breite Castiglione-Sattel wird von HEMMER (1966, 1971) als selbständige tektonische Einheit ("Emilianisch-Umbro-Romagnolisch-Zwischeneinheit") betrachtet. Es ist ein 900 - 1000 m mächtiger Sandsteinkomplex, der dem Cervarola-Sandstein nordöstlich vorgelagert ist. Er wird sowohl von der Modino-Cervarola-Einheit als auch von der Cantiere-Monghidoro-Einheit überschoben. Er taucht in Richtung ESE, am Passo della Futa, unter Argille Scagliose ab.

3) Cervarola-Sandstein östlich des PSL

3 a) Cervarola-Sandstein Typ Futa
(O.-Aquitan bis U.-Burdigal)

Dieser Gesteintyp wurde von GROSCURTH (1971) und HEMMER (1971) nach dem

Futa-Paß benannt. Er ist südlich des Futa-Passes (Poggio della Mandria, M. Gazzaro) anzutreffen und streckt sich nach Osten bis zum T. Bosso, nach Westen bis zum Setta- bzw. Bisenzio-Tal. Die Schichtfolge besteht aus bunten Schiefertone (Scisti Varicolori) an der Basis, darüber kommt Cervarola-Sandstein Typ Futa zur Ablagerung mit Dachmergeln als Hangendem. Der Cervarola-Sandstein Typ Futa ist überwiegend dickbankig, fein- bis mittelkörnig. Seine Mächtigkeit beträgt maximal 450 m, stellenweise nur 200 m primäre Mächtigkeit (HEMMER, 1971).

3 b) Cervarola-Sandstein Typ Mugello-Süd

(Oligozän - O.-Aquitan)

Der Cervarola-Sandstein Typ Mugello-Süd ist überwiegend am Südrand des Mugello-Beckens aufgeschlossen. Es ist eine vorwiegend mergelige Serie mit feinkörnigen, turbiditischen Grauwackenbänken (1 m Dicke) und einer maximalen Mächtigkeit von 1500 m. Er führt an der Basis Olisthostromen - Argille von Polcanto (GROSCURTH 1971, HEMMER 1971).

3 c) Castel-Guerrino-Sandstein

(O.-Aquitan - U.-Burdigal)

Der Castel-Guerrino-Sandstein wurde von GROSCURTH (1971) ausgeschieden und nach dem M. Castel-Guerrino benannt. Er überschiebt im NE die Formazione Marnoso-Arenacea und im Süden wird er von Cervarola-Sandstein

Typ Futa überschoben. Nach GROSCURTH (1971) besteht die Schichtfolge des Castel-Guerrino-Sandstein aus einer rhythmischen Wechsellagerung von feinkörnigen Grauwacken, Mergel und Kalken. Im unteren Teil der Schichtfolge überwiegen Sandsteine mit einer Mächtigkeit von 15 bis 150 cm. Im mittleren Teil der Folge haben die Mergellagen eine Mächtigkeit bis zu 25 m und die Sandsteine eine Mächtigkeit von 100 - 150 cm. Im höheren Teil der Folge beträgt die Mächtigkeit der Sandsteine und Mergeln 50 - 100 cm.

4) Formazione Marnoso-Arenacea

(Umbro-Markiden, Burdigal-Torton)

Die Formazione Marnoso-Arenacea bedeckt große Areale in Umbrien und der Romagna. Im Süden wird sie von der Modino-Cervarola-Einheit und im NW von der Cantiere-Monghidoro-Einheit überschoben. Diese Wechselfolge von Sandsteinen und Mergeln wurde von GROSCURTH (1971) wie folgt gegliedert: An der tektonischen Grenze von Castel-Guerrino-Sandstein und Formazione Marnoso-Arenacea erscheinen als Olisthostromargille rostbraune Schiefertone mit Brocken von Kalken und Sandsteinen. Danach folgen harte, splittrige und kalkreiche Mergel (Levisone-Mergel). Aus diesen Levisone-Mergeln geht die Formazione Marnoso-Arenacea I hervor. Danach folgt eine rhythmische Wechsellagerung von Sandsteinen und Mergeln. Die Formazione Marnoso-Arenacea I wird durch Olisthostromargille (Sambucheta-Mergel) von der Formazione Marnoso-Arenacea II getrennt.

5) Bereich des Prato-Sillaro-Lineaments

Das Prato-Sillaro-Lineament (PSL) verläuft vom Sillaro-Tal im Nordosten bis in den Raum von Prato im Südwesten. Es ist durch einen ca. 5 km breiten und 50 km langen Geländestreifen markiert, in dem Olisthostrom-Serien (U.-Kreide, O.-Kreide, ? Tertiär) auftreten. In den Olisthostromen befinden sich Blöcke aus Ophiolith, Radiolarit und Majolica in einer geradlinigen perlschnurartigen Anordnung, z.B. am Sasso di Castro und Monte Beni nördlich des Futa-Passes, zwischen S. Lucia und Panna südlich des Futa-Passes und nördlich von Prato.

1.4. Vorausgegangene Arbeiten zu PSL

Die Existenz von großen Transversalstörungen im Nordapennin wurde bereits in den 30er Jahren erkannt (SACCO 1935, SIGNORINI 1935, LIPPARINI 1944, WIEDERMAYER 1951, RICHTER 1960), jedoch wurde auf ihre Bedeutung für den Bau und die Entwicklungsgeschichte des Nordapennins nicht näher eingegangen.

Als erster machte BORTOLOTTI (1966) auf die Bedeutung solcher Störungen, im besonderen das Prato-Sillaro-Lineament, aufmerksam. Nach seiner Meinung läßt sich die von ihm benannte Störung (Livorno-Sillaro-Linie) vom Sillaro-Tal im NE bis in den Raum von Livorno verfolgen. Er teilte sie in zwei Teilstücke, eine "Livorno-Pistoia-Linie" und eine nach Osten versetzte "Prato-Sillaro-Linie " ein.

GHELARDONI (1965) vermutete jedoch, daß die beiden Teilstücke zwei voneinander unabhängige Störungen sind. Nach ihm ist die "Livorno-Pistoia-Linie " die südwestliche Fortsetzung einer von ihm vermuteten "Reno-Linie". Zu dieser Meinung kamen auch GROSCURTH (1971) und HEMMER (1971). Nach ihnen handelte es sich möglicherweise um Teile zweier paralleler (Livorno-Pistoia-Linie und Prato-Sillaro-Linie), jedoch voneinander unabhängiger Störungen.

Das Prato-Sillaro-Lineament ist auch geophysikalisch nachweisbar. Die Bouguer-Schwereanomalien-Karte der AGIP (1959) zeigt deutliche Heraushebung einer Querstörungszone in diesem Bereich (s. Abb. 4).

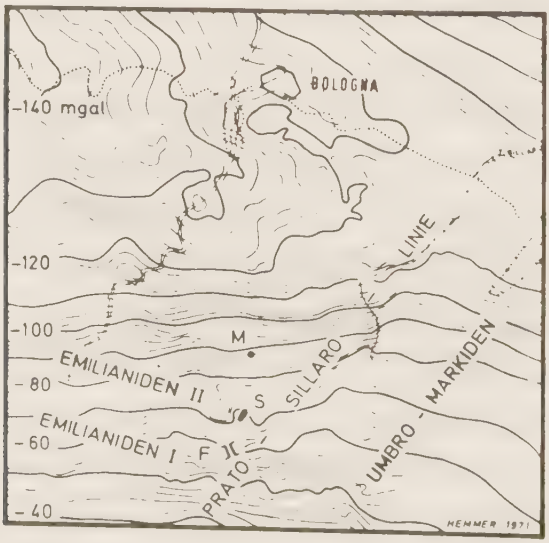


Abb. 4

zu Abb. 4:

Beziehungen zwischen den Bouguer-Schwer-Anomalien (AGIP 1959) und der Faziesverteilung (REUTTER 1968) im Bereich des Prato-Sillaro-Lineaments (nach HEMMER 1971).

F = Futa-Pass, M = Monghidoro, S = Sasso di Castro

Nach MALARODA & RAIMONDI (1957) häufen sich Erdbeben-Epizentren längs dieses Lineaments. Basierend auf dieser Arbeit kam PASSERINI (1961) zu der Feststellung, daß die Tiefenlage der Epizentren dabei von NE nach SW zunimmt.

Nach BOCCALETTI & GUAZZONE (1970) erfolgte die horizontale Verschiebung der einzelnen Teilstücke des Apennin-Systems an den Transversalstörungen.

In den Arbeiten von BORTOLOTTI (1966) und GROSCURTH & HEMMER (1973) wurde die Bedeutung des Prato-Sillaro-Lineaments als Faziesgrenze, aufgrund fazieller und stratigraphischer Untersuchungen beiderseits des Lineaments, diskutiert.

2.5. Kartenunterlagen

Als topographische Kartenunterlagen dienten folgende Meßtischblätter (1 : 25 000), des ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE in Florenz:

Blatt	Vergato	98	IV	NE
"	Loiano	98	I	NW
"	Monterenzio	98	I	NE
"	Passo della Radicosa	98	I	SE
"	Monghidoro	98	I	SW
"	Camugnano	98	IV	SE
"	Castiglione dei Pepoli	98	III	NE
"	Passo della Futa	98	II	NW
"	Ronta	98	II	SE
"	Barberino di Mugello	98	II	SW
"	Vernio	98	III	SE
"	Treppio	98	III	SW
"	Montale	106	IV	NW
"	Vaiano	106	IV	NE
"	Borgo S. Lorenzo	106	I	NE
"	S. Piero a Sieve	106	I	NW
"	Firenzuola	98	II	NE
"	Firenze	106	II	NW

Blatt	Monte Senario	106 I SE
"	Prato	106 IV SE
"	Vaglia	106 I SW

An geologischen Karten standen folgende Neuausgaben der Carta Geologica D'Italia (1 : 100 000) zur Verfügung:

Blatt 98 "Vergato" (CREMONINI & ELMI 1971)

Blatt 99 "Faenza" (" ")

Blatt 106 "Firenze" (MERLA, BORTOLOTTI & PASSERINI 1967).

Ferner lagen die Spezialkarten von GENTZ (1970), GROSCURTH (1971) und HEMMER (1971) im Maßstab 1 : 12 500 und 1 : 10 000 vor. Schließlich standen 21 Luftaufnahmen des ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE, Firenze, Maßstab 1 : 50 000 zur Verfügung.

2.6. Problemstellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Anwendungsmöglichkeiten und Brauchbarkeit der photogeologischen und gefügekundlichen Auswertung am Beispiel des Prato-Sillaro-Lineaments zu untersuchen. Die tektonischen Charakteristika des Prato-Sillaro-Lineaments sind unter Zuhilfenahme der unten benutzten Methoden zu erarbeiten, mit dem Ziel der Erstellung eines Gesamtbeanspruchungsplanes. Dieser Beanspruchungsplan soll in Beziehung zum lithologischen Charakter und zur räumlichen Anordnung der großen tektonischen Komplexe gesetzt werden, die

im Bereich dieser tektonischen Großstruktur (Prato-Sillaro-Lineament) auftreten. Schließlich soll versucht werden, den tektonischen Mechanismus einer derartigen Großstörungszone zu interpretieren und Hinweise auf die Bedeutung und Funktion derartiger Großstörungen innerhalb der Geosynklinalentwicklung von Gebirgssystemen zu gewinnen.

Die zu erzielenden Ergebnisse sollen mit Hilfe von zwei Grundmethoden erarbeitet werden :

1. Photogeologische Auswertung des Untersuchungsgebietes, mit Hilfe von 21 Luftbildern (Maßstab 1 : 50 000), unter Verwendung eines Stereotops. Die photogeologische Erkundung soll dabei von bereits mit herkömmlichen Geländemethoden kartierten Bereichen ausgehen und methodisch auf die besonderen Gegebenheiten des Gebietes abgestimmt werden, sodann auf noch nicht detailkartiertes Gebiet angewendet werden. Eine genaue Geländekartierung ist dabei weder erforderlich noch möglich, da das zu erkundende Gebiet etwa 1000 km^2 groß ist und Detailkarten von Teilen des Gebietes (GENTZ 1970, GROSCURTH 1971, HEMMER 1971) sowie Übersichtskarten (MERLA, BORTOLOTTI & PASSERINI 1967, CREMONINI & ELMI 1971) vorhanden sind.

2. Gefügekundliche Gelände-Messungen: Einmessen von Kluftsystemen und Schichtflächen-Verteilungen im Gelände und deren statistische Darstellung und Auswertung in der Lagenkugelprojektion.

2. LUFTBILDAUSWERTUNG

2.1. Allgemeines

Die Methoden der geologischen Luftbildauswertung finden ihre Anwendung bei der regionalen und lokalen geologischen Kartierung, bei der Erz- und Erdöl-prospektion, bei hydro- und ingenieurgeologischen Projekten. Es geht hierbei um die qualitative und quantitative Erfassung des geologischen Luftbildinhalts und dessen Darstellung in photogeologischen Karten.

Qualitativ werden die Charakteristika des gegebenen Geländebereiches (Morphologie, Oberflächenentwässerung, Vegetation, Textur u.a.) erfaßt. Ebenso werden Gesteinstypen identifiziert und abgegrenzt und deren tektonische Situation ermittelt.

Quantitativ werden das Streichen und Einfallen von Schichtflächen, Schicht-mächtigkeiten, Versatzbeträge an Störungen u.a. ermittelt. Zu den quantitativen Auswertungsmethoden gehören die Auswertung an Stereokartiergeräten - in diesem Fall an ZEISS Stereotop, einem Stereokartiergerät III-Ordnung - und gegebenenfalls als vorbereitender Arbeitsgang die Erstellung einer Radialschlitztriangulation zur Erzeugung eines Festpunktnetzes.

Der photogeologischen Interpretation sind nur jene geologischen Gegebenheiten eines Gebietes zugänglich, die sich direkt oder indirekt im Luftbild bemerkbar machen. In vegetationsarmen semi- und vollariden Bereichen mit guten Aufschlüssen

sind direkte Beobachtungen über weite Flächen möglich. Dagegen machen sich in gemäßigt-humiden und tropischen Zonen die verschiedenen lithologischen Einheiten häufig indirekt, durch typische Vegetationsdichte oder -anordnung, spezielles morphologisches Verhalten bemerkbar, ohne daß die Gesteine selbst aufgeschlossen sind.

Photogeologische Karten in halb- und vollariden Zonen lassen sich häufig ohne Geländebegehung oder mit nur wenigen Gelände-"checks" erstellen. Dagegen bedarf es in anderen Gebieten fast immer der überprüfenden und ergänzenden Geländeaufnahme. Die Situation im Untersuchungsgebiet entspricht der in humiden und tropischen Gebieten. Auf den Sandsteinen und ihren Schuttfeldern herrscht überwiegend Laubwald mit Buchen und Kastanien. Das Untersuchungsgebiet zeigt Mittel- bis Hochgebirgs-Charakter.

Mit Hilfe des photogeologischen Grautons, der Morphologie, der Landschaftsformen, der Flußnetzentwicklung, der Vegetation, der topographischen Position u.a. werden im Luftbild einzelne Bereiche ausgeschieden bzw. abgegrenzt.

Der Verfasser dieser Arbeit verzichtet an dieser Stelle auf die vollständige und ausführliche Erläuterung der Methoden und Kriterien der Luftbildauswertung, da diese in anderen Arbeiten und der Fachliteratur ausführlich dargestellt wurden (KRONBERG 1967, LIST 1968, LIST & STOCK 1969, HELMCKE 1970, ROLAND 1973, POHLMANN 1976 u.a.).

2.2. Luftbildmaterial und Instrumente

Das Untersuchungsgebiet ist mit qualitativ guten Luftaufnahmen gedeckt, die vom ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE, Firenze, bezogen werden können.

Die benutzten 21 Bilder stammen aus folgenden Serien:

AMS/ 3-8-54/ VV WWS/ M-14/ Bild-Nr. 2048 - 2053

AMS/ 14-9-54/ VV WWS/ M-25/ Bild-Nr. 3727 - 3733

AMS/ 14-9-54/ VV WWS/ M-25/ Bild-Nr. 3753 - 3756

AMS/ 14-9-54/ VV WWS/ M-25/ Bild-Nr. 3772 - 3775

Die erste Zahlengruppe gibt das Aufnahmedatum der Photos an.

Zur Auswertung standen Kontaktkopien auf normalem Photopapier zur Verfügung. Sie haben das Format 23 x 23 cm und einen durchschnittlichen Maßstab von 1 : 50 000. Die Kammerbrennweite "c" beträgt 153,16 mm.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden folgende Geräte zur photogeologischen Interpretation benutzt:

1. Spiegelstereoskop
2. Stereotop
3. Luftbildumzeichner (Pantograph)

Bei der Vorinterpretation der Luftbilder wurde ein Spiegelstereoskop der Firma CARL ZEISS mit einem Senkrechteinblick verwendet. Die Verwendung eines solchen Gerätes erlaubt die dreidimensionale Betrachtung des gesamten Überdeckungsbereiches eines Stereopaares, ohne die Luftbilder oder das Gerät umorientieren zu müssen, wenn ohne Vergrößerung gearbeitet wird. Somit können die einzelnen geologischen Informationen in einem Zusammenhang gesehen werden. Zur Erzielung des stereoskopischen Effektes müssen die Luftbilder in ganz bestimmter Weise zueinander und zum Spiegelstereoskop orientiert werden (s. Kap. 2.3.).

Das Stereokartiergerät (Stereotop) besteht aus einem Spiegelstereoskop, einem Bildwagen mit Parallaxenschrauben (P_x und P_y), eingebautem mechanischen Rechnern und einem Pantograph. Das Gerät (Stereotop) korrigiert die durch unterschiedliche Höhenlage von Bildpunkten bedingte Punktverschiebung (Radialverschiebung). Zur Auswertung in diesem Gerät sind daher nicht ausschließlich exakte Senkrechtaufnahmen erforderlich, da die durch Bildneigung bedingte projektive Verzerrung bis zu einem maximalen Betrag von 4^g auch durch den Rechner korrigiert wird (KRONBERG 1967, LIST 1968 u.a.) .

Die zeichnerische Darstellung des kartierten Luftbildinhaltes erfolgte mit Hilfe des dem Bildwagen angesetzten Pantograph, und zwar in dem gewünschten Maßstab (hier in der vorliegenden Arbeit 1 : 50 000) .

2.3. Vorbereitung und Orientierung von Luftbildern

In den folgenden Abschnitten sollen kurz die einfachen Methoden der quantitativen Luftbildauswertung dargestellt werden (Orientierung von Luftbildern unter dem Spiegelstereoskop, Erstellung des Festpunktnetzes). Zur weiteren Information sei dazu auf die entsprechenden, im Literaturverzeichnis angegebenen Lehrbücher und Spezialarbeiten, die sich mit photogeologischen Problemen befassen, verwiesen (KRONBERG 1967, LIST 1968, HELMCKE 1970, ROLAND 1973 u.a.).

2.3.1. Orientierung von Luftbildern unter dem Spiegelstereoskop

Zur Erlangung der richtigen Orientierung der Luftbilder zueinander und zum Spiegelstereoskop sei nach den Angaben der Gebrauchsanweisungen der Gerätehersteller vorgegangen.

2.3.2. Erstellung des Festpunktnetzes

Da für das zu bearbeitende Gebiet genügend topographische Karten in ausreichender Qualität (1 : 25 000) vorliegen, war für die Erstellung des Festpunktnetzes die Methode der zeichnerischen Radialtriangulation bzw. die Methode der Radialschlitztriangulation überflüssig. Die bereits in den Luftbildern markierten Punkte wurden nun in den topographischen Karten lokalisiert und genau markiert.

Dabei ist zu erwähnen, daß die in oberen und unteren randlichen Bereichen der Luftbilder ausgesuchten Punkte meist exakt lokalisierbare Punkte trigonometrische Punkte, Flußgabelungen, Straßenkreuzungen usw.) in den topographischen Karten sind und deshalb in den Luftbildern markiert wurden. Nachdem alle Punkte nun in den topographischen Karten markiert und numeriert waren, wurden die Karten auf den Maßstab 1 : 50 000 verkleinert. Anschließend wurden die Punkte auf Zeichenpapier übertragen. Damit ist ein Festpunktnetz in einem vorgewählten Maßstab (1 : 50 000) erstellt, in dem anschließend die Kartierungsergebnisse übertragen werden konnten.

3. LUFTBILDINTERPRETATION

3.1. Quantitative Auswertung

Mit Hilfe der photogeologischen Kartierung von Störungen, Klüften und Flußnetzen sollte eine Klärung und Beurteilung der tektonischen Situation im Untersuchungsgebiet erreicht werden. Deshalb wurde in dieser Arbeit die quantitative Auswertung der Luftbilder schwerpunktmäßig behandelt. Es wurden folgende Methoden angewandt, die in diesem Kapitel erläutert werden sollen:

1. Kluftnetz-Messung
2. Ermittlung der Klüftigkeit und Kluftdichte
3. Entwässerungsnetz-Messung

4. Ermittlung der Entwässerungsdichte und Talsegment-Häufigkeit
5. Korrelation der Richtungsverteilung von:
   1) Kluft- und Entwässerungsnetz aus der Luftbildmessung
   2) Kluftmessung aus dem Luftbild- und Geländemessung

3.1.1. Kluftnetz-Messung

BLANCHET (1957) hat die Klüfte, die aus den Luftbildern entnommen werden können, in Regionen mit Sedimentgesteinen, in zwei Klassen "macro-fractures" und"micro-fractures" geteilt. Nach ihm und LATTMAN (1958) u.a. wurden die Klüfte im Luftbild nach deren streichender Länge unterschieden. Hier seien als "Lineamente" (macro-fractures), geradlinige tektonische Elemente verstanden, die sich über Strecken von 1 - 50 km verfolgen lassen. Dagegen sind die tektonischen Trennflächen im Gestein mit einer streichenden Länge von unter 1 km, als Klüfte (micro-fractures) bezeichnet (LIST 1968).

Amerikanische Wissenschaftler (HOBBS 1911, HILL 1915) gebrauchten als erste den Begriff "Lineament", der sich aus morphologischer Anschauung entwickelte und indem als weitgehend verbreitete Erscheinung die geregelte Orientierung von Flußnetzen beobachtet und mit Kluftsystemen in Verbindung gebracht wurde.

SONDER (1938) greift die schon von anderen Autoren beobachtete Tatsache, daß die Gleitbahnen von Verwerfungen vorher in der Erdkruste ausgebildet waren und spricht von präexistierenden Verwerfungsbahnen.

STILLE (1947, 1949) definierte den Begriff "Lineament" als präexistierende alte Gleise, alte Schwächezonen der Erdkruste, die durch ihre Geradlinigkeit über weite Strecken gekennzeichnet sind. Die Erdkruste ist weitgehend von ihnen durchzogen, wobei nur einzelne im Laufe der Erdgeschichte aktiviert worden sind. Er kennzeichnete mit der Bezeichnung "D-Lineament" (diagonal zum Meridian) und "M-Lineament" (parallel zum Meridian) die Stellung großtektonischer Elemente zum Gradnetz der Erde.

CLOOS (1948) spricht von tiefen Schwächezonen der Erde (Geofrakturen bzw. Erdnähten), die an allen ihren Schicksalen teilnehmen.

MURAWSKI (1960) spricht von "durchgepauster Tektonik"; dabei meinte er die Übernahme bestimmter Strukturelemente aus dem Grundgebirge in die darüber lagernden Deckgebirgsschichten.

Nach HAMAN (1963) kommen Lineamente in der Luftaufnahme besonders gut, und zwar durch unterschiedlichen Pflanzenwuchs und durch Nachzeichnung im Entwässerungsnetz in der Topographie heraus.

Nach MOHR & PILGER (1964, S. 1049) geben andere Begriffe wie "Transversalstörung", "Paraphore" usw. die notwendige Erläuterung des Begriffes "Lineament". Sie definierten den Begriff "Lineament" wie folgt:

" 1. Geradlinigkeit über andere Strukturen hinweg oder als Grenzen von tektonischen Einheiten und Felder über Zehner und Hunderte von Kilometern.

2. Vorherrschen bestimmter Richtungen: NNE = rheinisch, NNW = eggisch, NNW bis NW = herzynisch, SW = erzgebirgisch.

3. Immer wiederkehrendes Aufleben in der Erdkruste, jedenfalls teilweise aus frühester erdgeschichtlicher Zeit her.

4. Durchpausung von Strukturen des tieferen Untergrundes.

5. Beeinflussung von Fazies (Fazieswechsel) und stratigraphischer Entwicklung.

6. Bevorzugte Aufstiegwege von Magmen und hydrothermalen Lösungen.

7. Bildung mannigfaltiger Formen wie Faltenwülste, Verschluckungszonen, verbogene Faltenachsen, Achsendepressionen. "

ROLAND (1973) definierte den Begriff "Photolineation", abgesehen von Länge und Art, als geradlinige oder schwach gekrümmte Elemente im Landschaftsbild. Es handelt sich in den meisten Fällen nicht um Störungen, sondern um Klüfte, wobei der Übergang Kluft-Störung aber fließend ist. Die Klüfte im Luftbild machen sich durch geradlinige feine Einkerbungen im Gestein, geradlinige Grautonunterschiede oder Vegetationsanomalien bemerkbar.

In der vorliegenden Arbeit sind alle Photolineationen, die eine streichende Länge bis 1 km haben, als Klüfte (micro-fractures) und die darüberhinaus als Lineamente (macro-fractures) betrachtet.

Um einen ersten Gesamtüberblick zu gewinnen, wurde das Kluftnetz mit dem Spiegelstereoskop der Firma CARL ZEISS vorinterpretiert. Das Ergebnis wurde dann im Gelände kontrolliert.

Anschließend erfolgte die Auswertung mit dem Stereotop, um die durch Radialverschiebung im Luftbild hervorgerufene Azimutverfälschung zu eliminieren.

Zur kluftstatistischen Auswertung wurde das Untersuchungsgebiet in fünf Meßbereiche aufgeteilt. Die einzelnen Meßbereiche stellen homogene Bereiche dar, innerhalb derer sich der tektonische Beanspruchungsplan nicht ändert (Tektonische-Einheiten, REUTTER 1968). Die Meßbereiche sind wie folgt aufgeteilt (Abb. 5):

Bereich I : Die Cantiere-Monghidoro-Einheit (Allochthon)

Bereich II : Die Modino-Cervarola-Einheit (Para-Autochthon) (westlich des PSL)

Bereich III : Die Modino-Cervarola-Einheit (Para-Autochthon) (östlich des PSL)

Bereich IV : Die Formazione Marnoso-Arenacea (Autochrthon)

Bereich V : Die Zone des Prato-Sillaro-Lineamentes (PSL)

Mit Hilfe eines Winkelmessers wurden die Azimute der Klüfte gegen die Nordrichtung gemessen und dabei gleichzeitig die Länge und Anzahl notiert. Sie wurden dann in Gradklassen von 0° - 180° eingetragen. Der Umfang jeder Klasse beträgt 10° und die Grenzpunkte liegen bei $4^{\circ}/5^{\circ}$, $14^{\circ}/15^{\circ}$ usw. Anschließend wurden die Klüfte, aufgeteilt in ihre prozentualen Anzahlen, in Histogrammen bzw. Kluftrosen dargestellt.

Diese Methode wurde von vielen Autoren, unter anderen KRONBERG (1967), LIST (1968), BODECHTEL (1969), LIST & STOCK (1969), ROLAND (1974), POHLMANN (1976) u.a. angewandt.

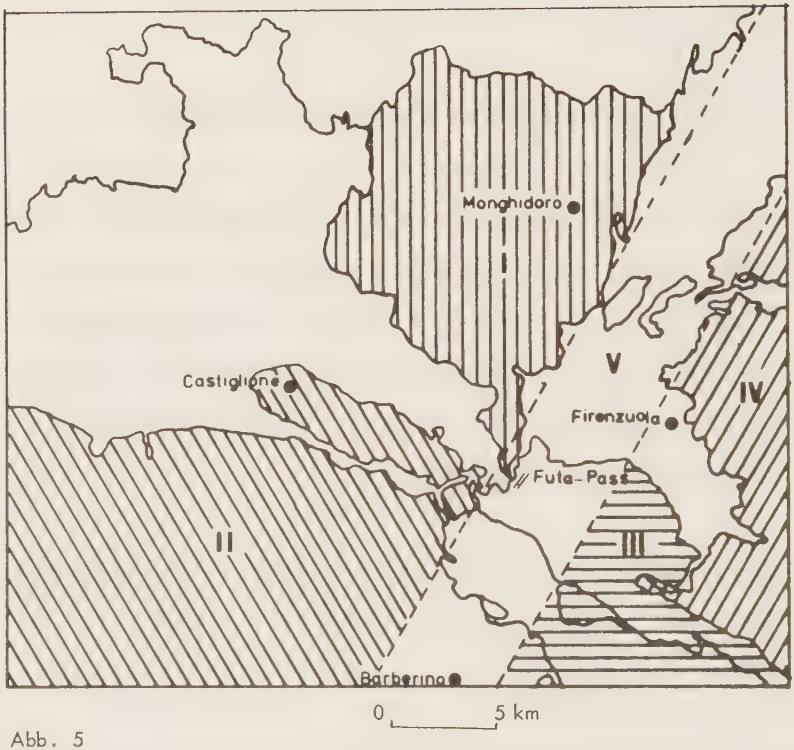


Abb. 5

Lageplan der Meßbereiche im Untersuchungsgebiet. Zeichenunterlage: Geol. Karte, Fo. 98, von G. CREMONINI & C. ELMI (1971)

Bereich I : Die Cantiere-Monghidoro-Einheit

Bereich II : Die Modino-Cervarola-Einheit (westlich der PSL)

Bereich III : Die Modino-Cervarola-Einheit (östlich der PSL)

Bereich IV : Die Formazione Marnoso-Arenacea

Bereich V : Die Zone des Prato-Sillaro-Lineaments (PSL)

Ihre Vorteile liegen in der klaren Übersichtlichkeit und der raschen Erstellbarkeit.

3.1.2. Klüftigkeit und Kluftdichte

Der Klüftigkeitindex "K" bedeutet die Anzahl der Klüfte pro Flächeneinheit (LIST 1968). Mit diesem Index hat somit der Bearbeiter einen repräsentativen und reproduzierbaren Zahlenwert zur Differenzierung unterschiedlicher Lithofazies bei der Interpretation von Luftaufnahmen. Dagegen stellt die Kluftdichte "D_K" die Gesamtlänge der Klüfte pro Flächeneinheit dar.

3.1.3. Entwässerungsnetz-Messung

Es ist bekannt, daß zwischen der Entwicklung von Flußnetzen und den geologischen Gegebenheiten eines Gebietes enge Beziehungen bestehen. Flußsysteme entwickeln sich in weitgehender Abhängigkeit von Petrofazies und Struktur des Gebietes. Flußnetze unterscheiden sich durch die Art ihrer Aufgliederung, durch ihre Dichte und ihre Ausrichtung. Die Analyse des Entwässerungsnetzes eines Gebietes erlaubt daher gewisse Rückschlüsse auf die im Untersuchungsgebiet anstehenden Gesteinstypen und deren Lagerungsverhältnisse. Sie erfolgt unter Berücksichtigung aller übrigen im Luftbild faßbaren Kriterien wie Morphologie, Vegetation, Textur, Grauton etc.

Untersuchungen haben ergeben, daß gewisse Grundtypen von Flußnetzen immer wieder in deutlicher Abhängigkeit von bestimmten Kombinationen lithologischer (Härte, Permeabilität, Schichtung und Löslichkeit des Gesteins) und struktureller Faktoren (Lagerungsverhältnisse, Art und Intensität der Klüfte und Vorhandensein oder Fehlen von Störungen) auftreten. Die häufigsten Flußnetztypen sind: dendritisch, angular, spalierartig, radial und ringförmig. Für weitere Information wird auf die angegebene Literatur verwiesen (KRONBERG 1967, LIST 1968, 1969, LIST & STOCK 1969 u.a.).

In dieser Arbeit wurde, wie bei der Kartierung von Klüften, für den ersten Überblick das Entwässerungsnetz unter dem Spiegelstereoskop der Firma CARL ZEISS auskartiert. Für die quantitative Auswertung nach Flußdichte und Flußrichtungen wurde an - schließend das Entwässerungsnetz mit dem Stereotop auskartiert. Es wurden Entwässerungs- segmente ab 100 m (2 mm) Länge aufgenommen.

Die Kartierung des Entwässerungsnetzes diente in dieser Arbeit dem Vergleich von Kluft- und Entwässerungsdichte sowie Kluft- und Entwässerungsrichtungen.

3.1.4. Entwässerungsdichte "D_E"

Die Entwässerungsdichte "D_E" wird von verschiedenen Bearbeitern zur Unterscheidung und zum Klassifizieren von Gesteinseinheiten verwendet (LIST 1968, 1969, LIST & STOCK 1969, ROLAND 1974, POHLMANN 1976 u.a.). Sie ist ähnlich wie

die Kluftdichte von der lithologischen Ausbildung des Gesteins abhängig. Die Entwässerungsdichte ist als die Gesamtlänge aller Talsegmente pro Flächeneinheit definiert. Ähnlich wie bei der Ermittlung der Kluftdichte sind hier alle im Meßbereich auftretenden, geradlinig verlaufenden Teilstücke der einzelenen Entwässerungssegmente, mit Länge und Richtung gegen Nordrichtung, gemessen.

Weitere Parameter der Entwässerungsbecken, wie Bifurkationsverhältnis, mittlere Länge der Talsegmente, wurden für die vorliegende Fragestellung in dieser Arbeit als nicht sinnvoll angesehen.

3.1.5. Korrelation der Richtungsverteilung von Kluft- und Entwässerungsnetzen

Es ist bekannt, daß zwischen den Hauptkluftrichtungen und den Richtungen des Entwässerungsnetzes meistens deutliche Beziehungen bestehen. Es wurde in vielen Arbeiten (ADLER 1957, MURAWSKI 1964, LIST 1968, ROLAND 1974, POHLMANN 1976 u.a.) eine deutliche Beeinflussung des Entwässerungsnetzes durch die vorgezeichneten tektonischen Linien bzw. Trennflächen festgestellt. Nach PILLEWIZER (1937) üben nur die steilstehenden Klüfte einen Einfluß auf das Entwässerungsnetz aus.

Nach LIST (1968), LIST & STOCK (1969) und POHLMANN (1976) ist der rein visuelle V rgleich zweier Verteilungen schwierig. Es ist aus diesem Grunde erforderlich, einen statistischen Test heranzuziehen, um ein Maß für den Grad der

Übereinstimmung zu bekommen. Ein solcher Test ist der "SPEARMAN'S Rang-Korrelationstest" (SACHS 1968). Der Rang-Korrelationskoeffizient "r_s" nimmt bei völliger Übereinstimmung den Wert + 1.00 und bei vollständiger negativer Korrelation den Wert - 1.00 an. Die Vorteile dieser Methode sind:

1. Die Prüfung bei kleinen Stichproben und nicht normal verteilten Meßwerten ist exakt.
2. Die Auswirkung von Ausreißern, die die Größe des Produktmoment-Korrelationskoeffizient "r" stark beeinflussen könnten, wird abgeschwächt.
3. Die Methode ist unabhängig vom Maßsystem.

Für die Berechnung des SPEARMAN'S Rang-Korrelationskoeffizienten "r_s" gilt:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n\,(n^2 - 1)} \qquad \text{(SACHS 1968)}$$

4. ERGEBNISSE DER LUFTBILDAUSWERTUNG

4.1. Kluftnetz

Die prozentuale Verteilung (Anzahl) der Klüfte auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°) wurde ermittelt und in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die Darstellung der Daten wurde dann in Form von Histogrammen und Kluftrosen vorgenommen. Neben dem Azimut wurden die Gesamtanzahlen der Klüfte berücksichtigt.

4.1.1. Bereich I (Cantiere-Monghidoro-Einheit)

Die Cantiere-Monghidoro-Einheit liegt im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes, westlich des PSL. Sie nimmt im Untersuchungsgebiet eine Fläche von 182 km^2 ein. Es wurden 216 Photolineationen mit einer Gesamtlänge von 268,25 km im Luftbild gemessen.

Für den Bereich I (Taf. 1) wurden Maxima bei 20°, 50°, 150° und 180° ermittelt, wobei das Maximum bei 20° / 50° sehr viel stärker ausgeprägt ist als die Maxima bei 150° und 180°. Es zeigt sich hier die Dominanz der NNE- bis NE-Richtung deutlich an.

4.1.2. Bereich II (Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL)

Das Prato-Sillaro-Lineament (PSL) teilt die Modino-Cervarola-Einheit in zwei Teile, westlich und östlich des Lineamentes. Der westliche Teil umfaßt den Castiglione- und Cervarola-Sandstein (HEMMER 1971). Die untersuchte Fläche beträgt 150 km^2 . Aus dem Luftbild wurden 213 Photolineationen mit einer Gesamtlänge von 242,5 km entnommen.

Das Histogramm (Taf. 2) zeigt stark ausgeprägte Maxima bei 40^o, 60^o und 100^o und schwächere bei 160^o und 180^o an. Hier dominieren die NE- und ESE-Richtungen deutlich.

4.1.3. Bereich III (Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL)

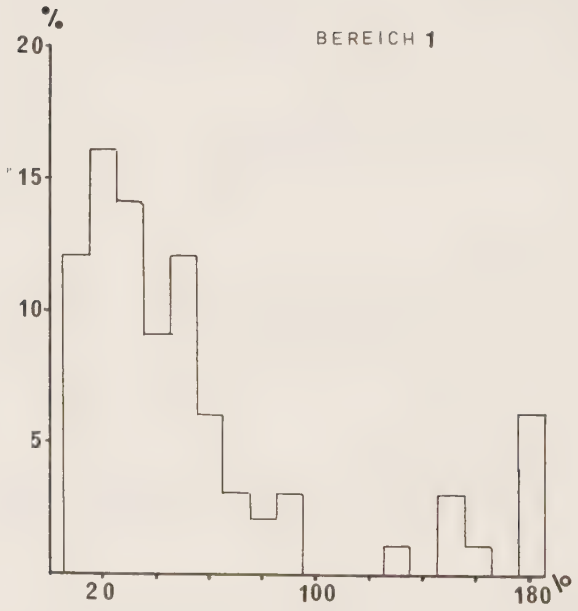
Der Bereich III im Untersuchungsgebiet umfaßt den Cervarola-Sandstein, Typ Futa (GROSCURTH 1971, HEMMER 1971), den Castel-Guerrino-Sandstein (GROSCURTH 1971) und den Cervarola-Sandstein, Typ Mugello Süd (GROSCURTH 1971, HEMMER 1971). Das Bearbeitungsgebiet hat eine Fläche von 132 km^2. Es wurden aus dem Luftbild 254 Photolineationen mit einer Gesamtlänge von 233,6 km auskartiert.

Hier zeigt sich im Taf. 3 ein stark ausgeprägtes Maximum bei 50^o und schwächere

Tabelle 1

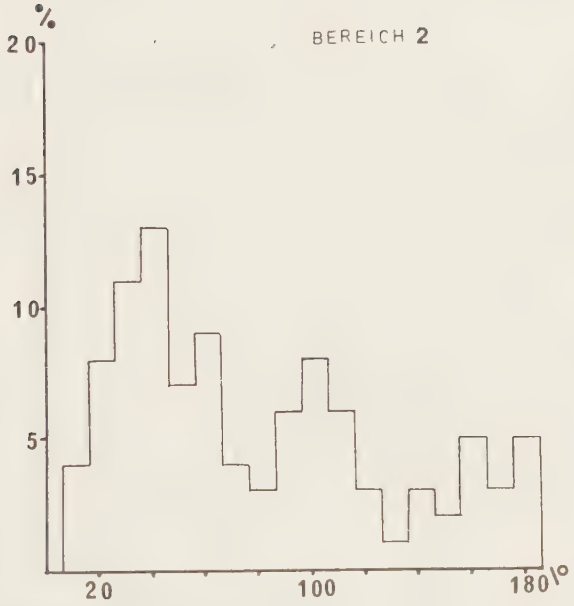
Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte und Talsegmente auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°). K_L = Klüfte aus dem Luftbild, K_G = Klüfte aus den gefügekundlichen Geländemessungen, E = Entwässerungsnetz

Azimut-Klassen/°	Bereich I			Bereich II			Bereich III			Bereich IV			Bereich V	
	K_L	K_G	E	K_L	K_G	E	K_L	K_G	E	K_L	K_G	E	K_L	E
	%			%			%			%			%	
10	12	5	6	4	1	5	7	7	7	5	1	4	8	6
20	16	9	10	8	3	6	5	2	5	12	9	10	13	8
30	14	6	5	11	9	7	11	5	6	6	7	7	22	14
40	9	4	3	13	10	9	11	6	5	11	8	9	12	9
50	12	11	7	7	7	5	12	9	8	8	7	7	9	5
60	6	3	6	9	8	8	5	2	5	7	7	6	10	6
70	3	4	4	4	5	5	4	4	4	4	6	4	3	4
80	2	4	7	3	2	2	3	1	2	5	3	2	2	5
90	3	3	6	6	4	6	5	4	7	8	6	6	5	6
100	0	3	3	8	12	9	4	5	2	5	5	3	1	3
110	0	3	4	6	6	7	4	6	2	4	7	3	3	3
120	0	5	4	3	3	4	2	5	5	1	5	5	0	3
130	1	3	3	1	5	5	3	11	8	1	5	5	2	3
140	0	5	4	3	7	5	2	8	7	1	3	5	0	3
150	3	6	4	2	5	5	4	6	4	0	0	3	0	4
160	1	3	3	5	4	5	3	5	5	5	7	3	1	3
170	0	2	4	3	3	2	2	2	4	1	1	3	0	2
180	6	9	5	5	5	5	4	3	5	6	3	5	2	6



Taf. 1

Richtungsverteilung der Klüfte (im Luftbild) im Bereich der Cantiere-Monghidoro-Einheit (Bereich I)



Taf. 2

Richtungsverteilung der Klüfte (im Luftbild) im Bereich der Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL (Bereich II)

Taf. 3

Richtungsverteilung der Klüfte (im Luftbild) im Bereich der Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL (Bereich III)

Maxima bei 10°, 90°, 130°, 150° und 180° an. In diesem Bereich dominiert die Richtung NE. Die Richtungen E und SE sind relativ schwach ausgeprägt.

4.1.4. Bereich IV (Formazione Marnoso-Arenacea)

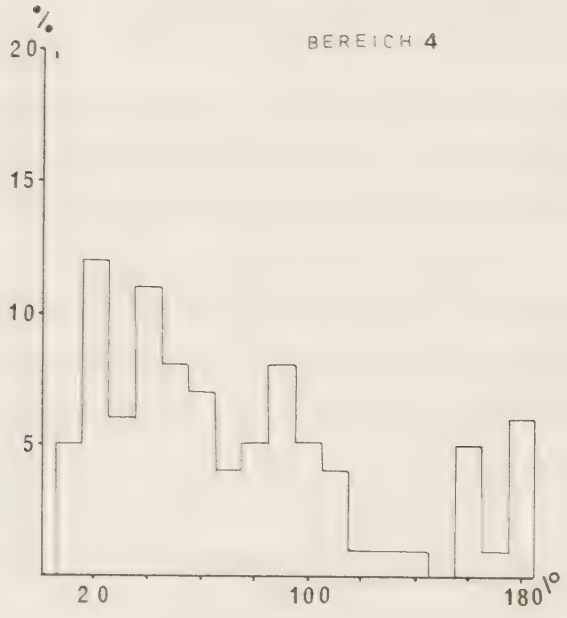
Die Formazione Marnoso-Arenacea grenzt im Norden des Arbeitsgebietes an die östliche Seite des PSL an. Die untersuchte Fläche beträgt 126 km^2. Es wurden 171 Photolineationen mit einer Gesamtlänge von 180 km gemessen.

Im Histogramm Taf. 4 wurden Maxima bei 20°, 40°, 90°, 160° und 180° ermittelt, wobei die Maxima bei 20°, 40° und 90° stark ausgeprägt vorkommen. Auch hier zeigt sich die Dominanz der NNE- bis NE- und der E-Richtungen deutlich an.

4.1.5. Bereich V (Prato-Sillaro-Lineament)

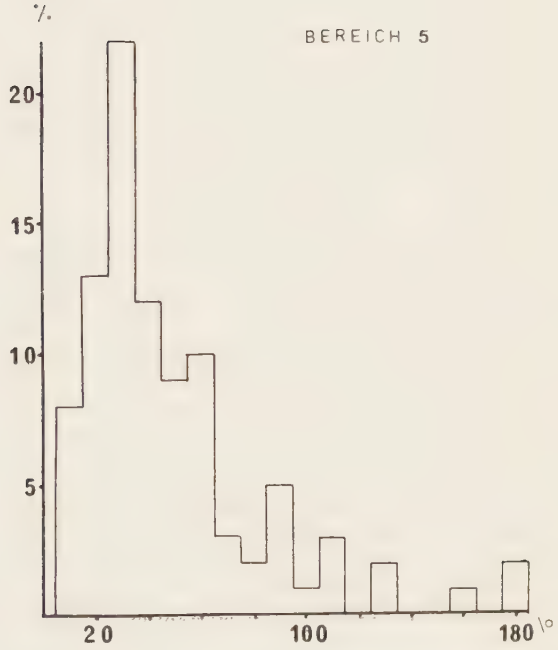
Im Untersuchungsgebiet nimmt das Prato-Sillaro-Lineament (PSL) eine Länge von ca. 34,5 km (innerhalb des Arbeitsgebietes) und eine Breite von ca. 5 km ein. Es wurden innerhalb dieses Bereiches 250 Photolineationen mit einer Gesamtlänge von 268 km gemessen.

Im Taf. 5 zeigt das Histogramm ein sehr deutliches Maximum bei 30° an. Zusätzlich sind schwächere Maxima bei 90° und 110° zu beobachten. Hier dominiert sehr deutlich die Richtung NE.



Taf. 4

Richtungsverteilung der Klüfte im Luftbild) im Bereich der Formazione Mamoso-Arenacea (Bereich IV)



Taf. 5

Richtungsverteilung der Klüfte im Bereich V (Prato-Sillaro-Lineament)

(Messungen aus dem Luftbild)

4.2. Klüftigkeit und Kluftdichte

Als Klüftigkeitsindex "K" wird die Anzahl der Klüfte pro Flächeneinheit und als Kluftdichte "D_K" die Gesamtlänge der Klüfte pro Flächeneinheit bezeichnet. Sie lassen sich wie folgt berechnen:

$$K = \frac{N}{A} \qquad \left[km^{-2}\right]$$

$$D_K = \frac{L}{A} \qquad \left[km^{-1}\right]$$

(N = Anzahl der Klüfte, L = Gesamtlänge der Klüfte, A = Flächeneinheit).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Es ergibt sich für die fünf Meßbereiche im Untersuchungsgebiet folgende D_K- und K-Werte :

Tabelle 2

N = Anzahl der Klüfte, L = Gesamtlänge der Klüfte, A = Flächeneinheit, D_K = Kluftdichte, K = Klüftigkeitindex

Meßbereich	N [ ]	L [km]	A [km^2]	D_K [km^{-1}]	K [km^{-2}]
I	216	268,25	182	1.47	1.19
II	213	242,50	150	1.61	1.42
III	254	233,60	132	1.92	1.76
IV	171	180,00	126	1.35	1.42
V	250	268,00	172,5	1.47	1.55
$\bar{X}$	220,8	238,47	152,5	1.50	1.58

4.3. Entwässerungsnetz

4.3.1. Entwässerungsdichte

Die Entwässerungsdichte "D_E" läßt sich wie folgt berechnen:

$$D_E = \frac{L}{A} \qquad \left[km^{-1}\right]$$

(L = Gesamtlänge aller Talsegmente, A = Flächeneinheit)

Es wurden für die fünf Meßbereiche im Untersuchungsgebiet folgende Zahlenwerte ermittelt :

Bereich	I	$D_E = 1.75$	$\left[km^{-1}\right]$
Bereich	II	$D_E = 2.24$	"
Bereich	III	$D_E = 2.75$	"
Bereich	IV	$D_E = 2.26$	"
Bereich	V	$D_E = 1.98$	"

4.3.2. Talsegment-Häufigkeit

Die Talsegment-Häufigkeit "F" ist definiert als das Verhältnis der Gesamtanzahl aller Talsegmente (N) zum Flächeninhalt (A) eines Meßbereiches.

Es gilt:

$$F = \frac{N}{A} \qquad \left[km^{-2}\right]$$

Es wurden für die fünf Meßbereiche des Untersuchungsgebietes folgende Talsegment-Häufigkeitswerte ermittelt :

Bereich	I	F = 2.467	$[km^{-2}]$
Bereich	II	F = 3.360	"
Bereich	III	F = 5.159	"
Bereich	IV	F = 3.626	"
Bereich	V	F = 2.342	"

Nach MELTON (1958) drückt sich der Einfluß der Lithologie in das Verhältnis Talsegment-Häufigkeit "F" zur Entwässerungsdichte "D_E" aus. Von ihm wurde dieser Zusammenhang errechnet, und zwar wie folgt:

$$F/D^2_E = 0.694$$

Aus den vorliegenden Meßdaten läßt sich MELTON's gesetzmäßige Abhängigkeit (0.694) annähernd ableiten :

Bereich	I	F/D^2_E = 0.806
Bereich	II	" ≐ 0.669
Bereich	III	" = 0.682
Bereich	IV	" = 0.710
Bereich	V	" = 0.597

Wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist, ergibt sich für das Untersuchungsgebiet ein D_E - Mittelwert von 2.20 km^{-1} und ein F/D_E^2 - Mittelwert von 0.692.

Tabelle 3

Morphometrische Parameter für die Meßbereiche I - V

N = Anzahl aller Talsegmente, L = Gesamtlänge aller Talsegmente

D_E = Entwässerungsdichte, F = Talsegment-Häufigkeit, F/D_E^2 = MELTON's Verhältniszahl

Meßbereich	N [ ]	L [km]	A [km^2]	D_E [km^{-1}]	F [km^{-2}]	F/D_E^2 [ ]
I	449	318,7	182	1.75	2.467	0.806
II	504	336,6	150	2.24	3.360	0.669
III	681	363,4	132	2.75	5.159	0.682
IV	457	285,6	126	2.26	3.626	0.710
V	404	341,7	172,5	1.98	2.342	0.597
$\overline{X}$	499	329,2	152,5	2.20	3.390	0.692

4.4. Auswertung nach der Methode von RAY & FISCHER

Der Verfasser dieser vorliegenden Arbeit unternahm den Versuch, die Auswertung des Kluft- und Entwässerungsnetzes nach der Methode von RAY & FISCHER (1960) vorzunehmen. Es wurden für jedes Teilgebiet (Meßbereich) des Untersuchungsgebietes drei kreisförmige Beprobungsbereiche in Form von vergleichbaren Einheitskreisen (Radius = 2 cm = 1 km) ausgewählt. Alle im Einheitskreis auftretenden, geradlinig

verlaufenden Teile der einzelnen Entwässerungssegmente wurden analog den Kluftmessungen (Länge und Azimut) gemessen. Die Auswertungsergebnisse sind in Tab. 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4

Morphometrische Parameter für die Meßkreise 1 - 15

N_K - Anzahl der Klüfte, N_E = Anzahl der Talsegmente, L_K = Gesamtlänge der Klüfte, L_E = Gesamtlänge der Talsegmente, K = Klüftigkeitindex, D_K = Kluftdichte D_E - Entwässerungsdichte, F - Talsegment-Häufigkeit, F/D_E^2 = MELTON's Verhältniszahl

Meß-Bereich	Kreis	N_K [ ]	N_E [ ]	L_K [km]	L_E [km]	K [km^{-2}]	D_K [km^{-1}]	D_E [km^{-1}]	F [km^{-1}]	F/D_E^2 [ ]
	1	6	17	5.75	9.8	1.91	1.83	3.12	5.414	0.556
I	2	9	25	8.00	10.1	2.86	2.54	3.21	7.961	0.772
	3	10	30	5.95	10.0	3.18	1.89	3.18	9.554	0.945
	4	21	27	12.75	11.9	6.68	4.06	3.78	8.598	0.602
II	5	12	20	11.20	7.6	3.82	3.56	2.42	6.369	1.088
	6	10	30	10.10	9.4	3.18	3.21	2.97	7.006	0.794
	10	14	40	8.55	11.5	4.31	2.72	3.64	12.738	0.962
III	11	8	31	6.20	9.2	2.54	1.95	2.94	9.872	1.141
	12	5	25	4.30	9.6	1.59	1.50	3.05	7.961	0.856
	13	6	16	3.55	9.2	1.90	1.11	2.91	5.095	0.602
IV	14	9	20	6.95	8.1	2.86	2.20	2.57	6.369	0.965
	15	15	35	7.50	15.2	4.31	2.38	4.82	11.146	0.479
	7	10	22	6.15	10.8	3.18	1.95	3.43	7.006	0.555
V	8	9	23	4.00	12.4	2.86	1.27	3.94	7.324	0.471
	9	3	21	1.65	9.1	0.95	0.52	2.91	6.687	0.790

Wenn man die D_K -, K-, D_E - und F/D_E^2 - Mittelwerte aus den 15 Meßkreisen und aus den 5 Meßbereichen für das gesamte Untersuchungsgebiet miteinander vergleicht (Tab. 5), ergibt sich eine fast hundertprozentige Übereinstimmung bei den F/D_E^2 - Mittelwerten. Eine gute Übereinstimmung ist auch bei den D_E - Mittelwerten zu beobachten. Diese Übereinstimmung zeigt, daß mit der Methode von RAY & FISCHER (1960) brauchbare Ergebnisse erzielt werden können, wobei der Arbeitsaufwand bei Messung der "Stichproben-Kreise" erheblich geringer ist als bei der Messung der Gesamtpopulation.

Tabelle 5

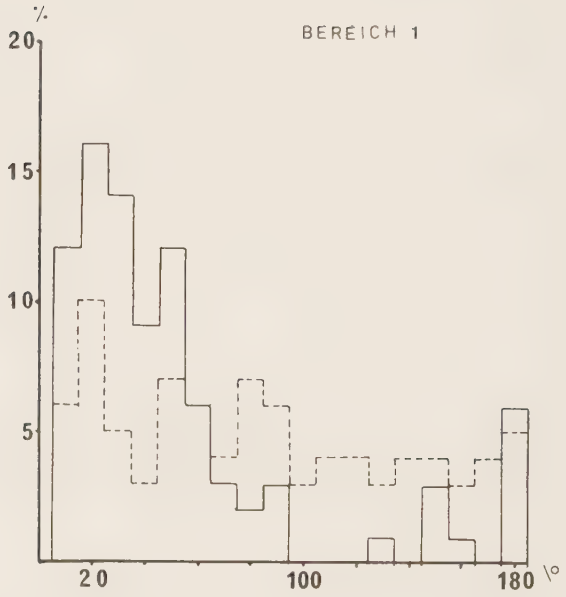
Vergleich der D_K -, K-, D_E- und F/D_E^2 - Mittelwerte aus den 15 ausgesuchten "Stichproben-Kreisen" (nach RAY & FISCHER 1960) mit den Mittelwerten der Auswertung der Gesamtpopulation

Auswertungsmethode	D_K $[km^{-1}]$	K $[km^{-2}]$	D_E $[km^{-1}]$	F/D_E^2 [ ]
Stichproben-Kreise	2.34	3.14	3.25	0.682
Gesamtpopulation	1.50	1.58	2.20	0.692

5. Korrelation der Richtungsverteilung

5.1. Kluft- und Entwässerungsnetz

Für den Bereich I (Cantiere-Monghidoro-Einheit) zeigt das Histogramm (Taf. 6 gestrichelte Linie für das Entwässerungsnetz) Maxima bei 20°, 70°, 125° und 180°, wobei das Maximum bei 20° / 70° stärker ausgeprägt ist als das bei 125° / 180°.



Taf. 6

Richtungsverteilung der Klüfte bzw. Talsegmente im Bereich I (Cantiere-Monghidoro-Einheit).

———— Klüfte
---------- Talsegmente
(aus dem Luftbild)

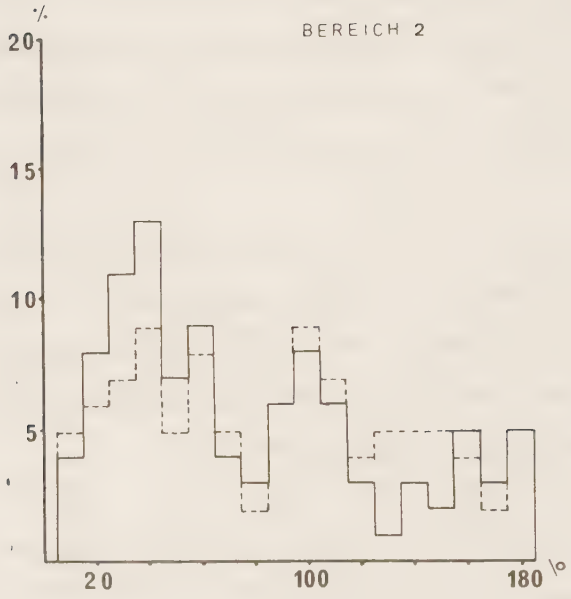
Es zeigt sich hier, wie bei den Klüften (ausgezogene Linie) die Dominanz der NNE - bis NE-Richtung deutlich an.

Aus dem Histogramm Taf. 7 (gestrichelte Linie) ergibt sich für Bereich II (Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL) stark ausgeprägte Maxima bei 40° und 100° und schwächere bei $145^{\circ}/180^{\circ}$. Hier, wie bei den Klüften (ausgezogene Linie) dominieren die NE- und ESE-Richtungen deutlich.

Für Bereich III (Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL) zeigt sich im Taf. 8 (gestrichelte Linie) stark ausgebildete Maxima bei 10° , 50°, 90° und 130° . Das Maximum $160^{\circ} / 180^{\circ}$ ist relativ schwach ausgebildet. Hier dominieren deutlich die NE- und ESE-Richtungen sowohl bei den Klüften (ausgezogene Linie) als auch bei dem Entwässerungsnetz.

Mit Hilfe des Histogrammes in Taf. 9 (gestrichelte Linie) wurden für Bereich IV (Formazione Marnoso-Arenacea) Maxima bei 20°, 40°, 90°, 130° und 180° ermittelt, wobei die Maxima bei 20°, 40° und 90° stark ausgeprägt vorkommen. Auch hier, wie bei den Klüften (ausgezogene Linie), zeigt sich die Dominanz der NNE- bis NE- und der E-Richtungen deutlich an.

Im Histogramm Taf. 10, gestrichelte Linie, ist ein sehr deutliches Maximum bei 30° für Bereich V (Prato-Sillaro-Lineament) zu beobachten. Zusätzlich sind schwächere Maxima bei 90° und 180° ausgebildet. Hier ist die NE-Richtung, für das Kluft- und Entwässerungsnetz, eindeutig dominierend.



Taf. 7

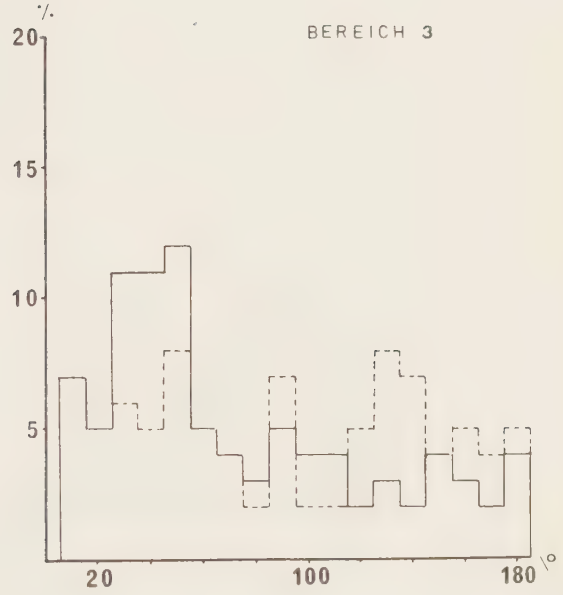
Richtungsverteilung der Klüfte bzw. Talsegmente im Bereich II

(Modino - Cervarola - Einheit westlich der PSL) .

———— Klüfte

(aus dem Luftbild)

---------- Talsegmente



Taf. 8

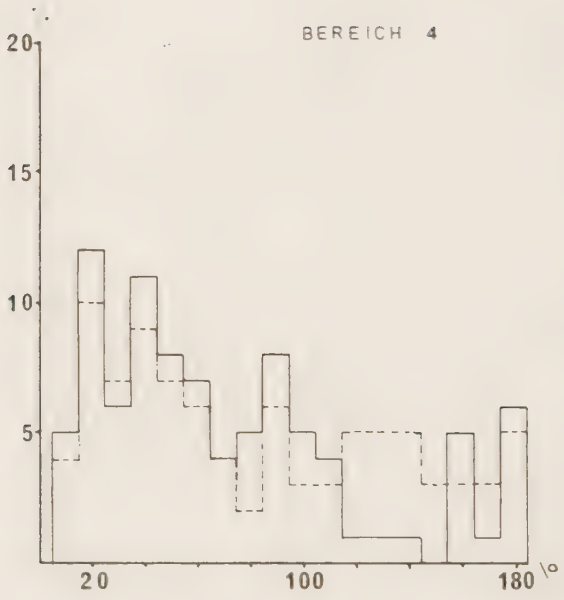
Richtungsverteilung der Klüfte bzw. Talsegmente im Bereich III

(Modino - Cervarola - Einheit östlich der PSL).

———————— Klüfte

---------- Talsegmente

(aus dem Luftbild)



Taf. 9

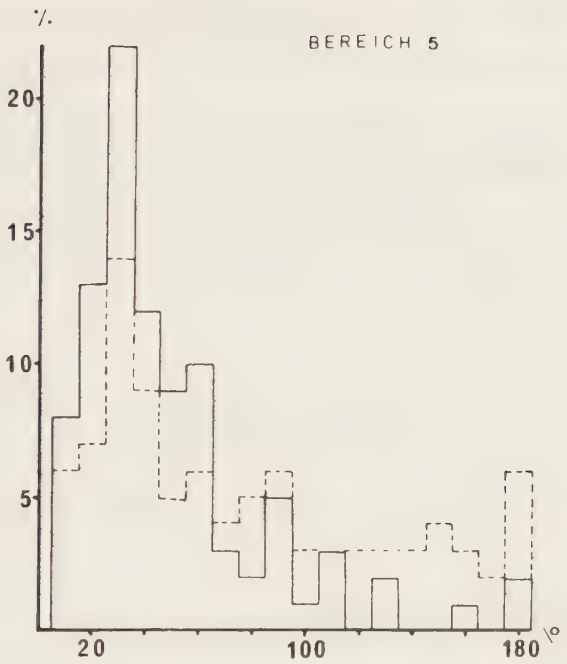
Richtungsverteilung der Klüfte bzw. Talsegmente im Bereich IV

(Formazione Marnoso - Arenacea).

———————— Klüfte

(aus dem Luftbild)

---------- Talsegmente



Taf. 10

Richtungsverteilung der Klüfte bzw. Talsegmente im Bereich V

(Prato - Sillaro - Lineament)

———————— Klüfte (aus dem Luftbild)

---------- Talsegmente

In allen fünf Meßbereichen des Untersuchungsgebietes ist eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Richtungsverteilung von Kluft- und Entwässerungsnetz zu beobachten. Um ein Maß für den Grad der Übereinstimmung zu bekommen (LIST & STOCK 1969), wurde die Methode von SPEARMAN (SPEARMAN's Rang-Korrelationstest, SACHS 1968) herangezogen. Für diesen Test wurde die prozentuale Richtungsverteilung der Anzahl der Klüfte sowie der Talsegmente verwendet. Es gilt :

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n\,(n^2 - 1)}$$

Wobei D = Rangdifferenz, n = Anzahl der Azimutklassen = 18

Bereich I (Cantiere-Monghidoro-Einheit)

Tabelle 6

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte und Talsegmente auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°). K_L = Klüfte aus dem Luftbild, E = Entwässerungsnerz, D = Rangdifferenz

Azimut/°	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
K_L %	12	16	14	9	12	6	3	2	3	0	0	0	1	0	3	1	0	6
E	6	10	5	3	7	6	4	7	6	3	4	4	3	4	4	3	4	5
D	+6	+6	+9	+6	+5	0	-1	-5	-3	-3	-4	-4	-2	-4	-1	-2	-4	+1

Summe aller D^2 = 332

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 332}{18\,(18^2 - 1)} = + 0.660$$

Bereich II (Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL)

Tabelle 7

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte und Talsegmente auf die einzelnen Azimutklassen (10^{o} - 180^{o}). K_L = Klüfte aus dem Luftbild, E = Entwässerungsnetz, D = Rangdifferenz

Azimut/°	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
% K_L	4	8	11	13	7	9	4	3	6	8	6	3	1	3	2	5	3	5
E	5	6	7	9	5	8	5	2	6	9	7	4	5	5	5	5	2	5
D	-1	+2	+4	+4	+2	+1	-1	+1	0	-1	-1	-1	-4	-2	-3	0	+1	0

Summe aller $D^2 = 77$

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 77}{18\,(18^2 - 1)} = + 0.921$$

Bereich III (Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL)

Tabelle 8

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte und Talsegmente auf die einzelenen Azimutklassen (10° - 180°). K_L = Klüfte aus dem Luftbild , E = Entwässerungsnetz, D = Rangdifferenz

Azimut / °	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
% K_L	7	5	11	11	12	5	4	3	5	4	4	2	3	2	4	3	2	4
E	7	5	6	5	8	5	4	2	7	2	2	5	8	7	4	5	4	5
D	0	0	+5	+6	+4	0	0	+1	-2	+2	+2	-3	-5	-5	0	-2	-2	-1

Summe aller D^2 = 158

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 158}{18 (18^2 - 1)} = +0.840$$

Bereich IV (Formazione Marnoso-Arenacea)

Tabelle 9

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte und Talsegmente auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°). K_L = Klüfte aus dem Luftbild, E = Entwässerungsnetz, D = Rangdifferenz

Azimut / °	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
% K_L	5	12	6	11	8	7	4	5	8	5	4	1	1	1	0	5	1	6
E	4	10	7	9	7	6	4	2	6	3	3	5	5	5	3	3	3	5
D	+1	+2	-1	+2	+1	+1	0	+3	+2	+2	+1	-4	-4	-4	-3	+2	-2	+1

Summe aller $D^2 = 96$

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 96}{18 (18^2 - 1)} = + 0.902$$

Bereich V (Prato-Sillaro-Lineament)

Tabelle 10

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte und Talsegmente auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°). K_L = Klüfte aus dem Luftbild, E = Entwässerungsnetz, D = Rangdifferenz

Azimut / °	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
% K_L	8	13	22	12	9	10	3	2	5	1	3	0	2	0	0	1	0	2
E	6	8	14	9	5	6	4	5	6	3	3	3	3	3	4	3	2	6
D	+2	+5	+8	+3	+4	+4	-1	-3	-1	-2	0	-3	-1	-3	-4	-2	-2	-4

Summe aller $D^2 = 208$

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 208}{18 (18^2 - 1)} = + 0.790$$

Die Korrelation zwischen der Verteilung der Talsegmente in den Meßbereichen I - V mit den Kluftrichtungen der entsprechenden Meßbereiche ist selbst bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0{,}001$ ($r_s = 0{,}690$, SACHS 1968) gesichert.

5.2. Klüfte im Luftbild und im Gelände

Die gefügekundlichen Messungen beschränken sich auf die Bereiche, die unmittelbar an das Prato-Sillaro-Lineament angrenzen. Im Bereich des PSL selbst waren gefügekundliche Messungen nicht möglich, und zwar wegen fehlender Aufschlüsse und der Schwierigkeit, sich in diesem Abschnitt zu bewegen.

Für die vier tektonischen Einheiten (Bereich I - IV) westlich und östlich des PSL ergab sich folgendes :
Im Bereich I (Cantiere-Monghidoro-Einheit) zeigten sich im Histogramm Taf. 11, gestrichelte Linie (Geländemessung) Maxima bei 20°, 50°, 120°, 140° und 180° an. Weiterhin ist ein schwach ausgeprägtes Maximum bei 75° zu beobachten, wobei in diesem Bereich die Richtungen NNE - NE und ESE - S als dominierend zu betrachten sind.

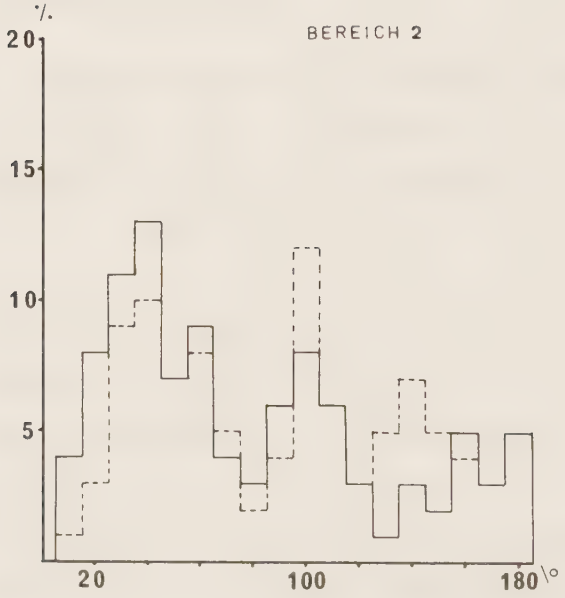
Für Bereich II (Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL) konnte im Histogramm Taf. 12 (gestrichelte Linie) ein Maximum bei 100° festgestellt werden, wobei die Maxima bei 40°, 140° und 180° relativ schwach vorkommen. Hier dominieren die Richtungen NE, E und SE.

Taf. 11

Richtungsverteilung der Klüfte im Bereich I (Cantiere-Monghidoro-Einheit).

———————— Messungen aus dem Luftbild

---------- Messungen im Gelände



Taf. 12

Richtungsverteilung der Klüfte im Bereich II (Modino-Cervarola-Einheit westlich der PSL).

———————— Messungen aus dem Luftbild

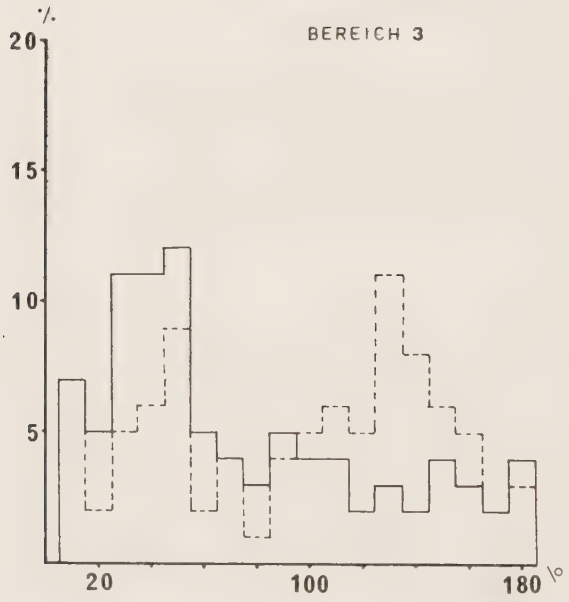
---------- Messungen im Gelände

Für Bereich III (Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL) zeichnet sich im Histogramm Taf. 13 (gestrichelte Linie) ein scharf ausgeprägtes Maximum bei 130° aus. Daneben sind jedoch die 10° -, 50° - und 110° - Richtungen als Nebenmaxima zu beobachten. Hier zeigt sich das Vorherrschen der Richtungen NNE - NE und ESE deutlich.

Im Histogramm Taf. 14 (gestrichelte Linie) ergab sich für Bereich IV (Formatione Marnoso-Arenacea) eine Betonung der 20° -, 40° -, 90°-, 125° -, 160° - und 180° - Richtungen, wobei die Richtungen NNE und ESE deutlich dominieren.

Aus diesen Ergebnissen der gefügekundlichen Untersuchungen ergeben sich hauptsächlich zwei vorherrschende Richtungen : NE und SE. Die Klüfte selbst sind meist offene Klüfte. Nur wenige Klüfte sind mit Quarz verheilt. Ferner ist zu erkennen, daß die Klüfte, die eine Streichrichtung zwischen 100° und 140° aufweisen, meist flach (30° - 50°) einfallen. Diese flacheinfallenden Klüfte sind im Luftbild weniger gut erkennbar. Trotzdem ist eine gute Übereinstimmung zwischen den Messungen im Luftbild und Gelände festzustellen.

Um ein Maß für den Grad der Übereinstimmung zu bekommen, wurde hier auch die Methode von SPEARMAN (SPEARMAN's Rang-Korrelationstest) herangezogen.

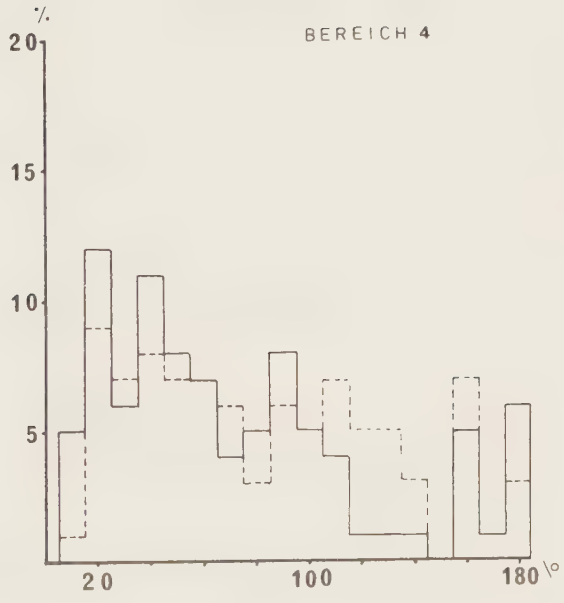


Taf. 13

Richtungsverteilung der Klüfte im Bereich III (Modino-Cervarola-Einheit östlich der PSL).

———————— Messungen aus dem Luftbild

---------- Messungen im Gelände



Taf. 14

Richtungsverteilung der Klüfte im Bereich IV (Formazione Marnoso-Arenacea).

———————— Messungen aus dem Luftbild

---------- Messungen im Gelände

Bereich I (Cantiere-Monghidoro-Einheit)

Tabelle 11

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte im Luftbild und im Gelände auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°).

K_L = Klüfte im Luftbild, K_G = Klüfte im Gelände, D = Rangdifferenz

Azimut / °	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
%																		
K_L	12	16	14	9	12	6	3	2	3	0	0	0	1	0	3	1	0	6
K_G	5	9	6	4	11	3	4	4	3	3	3	5	3	5	6	3	2	9
D	+7	+7	+8	+5	+1	+3	-1	-2	0	-3	-3	-5	-2	-5	-3	-2	-2	-3

Summe aller D^2 = 300

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 300}{18\,(18^2 - 1)} = +0.691$$

Bereich II (Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL)

Tabelle 12

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte im Luftbild und im Gelände auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°).

K_L = Klüfte im Luftbild, K_G = Klüfte im Gelände, D = Rangdifferenz

Azimut / °	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
%																		
K_L	4	8	11	13	7	9	4	3	6	8	6	3	1	3	2	5	3	5
K_G	1	3	9	10	7	8	5	2	4	12	6	3	5	7	5	4	3	5
D	+3	+5	+2	+3	0	+1	-1	+1	+2	-4	0	0	-4	-4	-3	-1	0	0

Summe aller D^2 = 102

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 102}{18\,(18^2 - 1)} = +0.895$$

Bereich III (Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL)

Tabelle 13

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte im Luftbild und im Gelände auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°).

K_L = Klüfte im Luftbild, K_G = Klüfte im Gelände, D = Rangdifferenz

Azimut / $^\circ$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
% K_L	7	5	11	11	12	5	4	3	5	4	4	2	3	2	4	3	2	4
K_G	7	2	5	6	9	2	4	1	4	5	6	5	11	8	6	5	2	3
D	0	+3	+6	+5	+3	+3	0	+2	+1	-1	-2	-3	-8	-6	-2	-3	0	+1

Summe aller $D^2 = 216$

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 216}{18\,(18^2 - 1)} = +0.778$$

Bereich IV (Formazione Marnoso-Arenacea)

Tabelle 14

Prozentuale Richtungsverteilung der Klüfte im Luftbild und Gelände auf die einzelnen Azimutklassen (10° - 180°).

K_L = Klüfte im Luftbild, K_G = Klüfte im Gelände, D = Rangdifferenz

Azimut / °	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
% K_L	5	12	6	11	8	7	4	5	8	5	4	1	1	1	0	5	1	6
K_G	1	9	7	8	7	7	6	3	6	5	7	5	5	3	0	7	1	3
D	+4	+3	-1	+3	+1	0	-2	+2	+2	0	-3	-4	-4	-2	0	-2	0	+3

Summe aller $D^2 = 106$

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 106}{18\,(18^2 - 1)} = +0.891$$

Beim Vergleich von Kluftmessungen im Luftbild und im Gelände ergibt sich in den meisten Fällen eine gute Übereinstimmung. Allerdings fand BROWN (1961), daß die im Gelände gemessenen Klüfte mit den aus den Luftbildern gewonnenen Werten korreliert werden konnten, jedoch ein Teil der im Gelände gemessenen Klüfte nicht auf den Luftbildern erschien.

Nach LIST (1968) kann eine genaue Übereinstimmung von Luftbild- und Geländemessungen nicht ohne weiteres vorausgesetzt werden, sondern muß in jedem Einzelfall nachgeprüft werden, in wieweit jeweils Luftbildinterpretation und Geländeergebnisse korrelierbar sind. Allerdings ist zu erwarten, daß zumindest alle steil einfallenden Klüfte auch im Luftbild erkennbar sind.

Insgesamt zeigt sich in der vorliegenden Untersuchung, daß in allen tektonischen Einheiten westlich und östlich des Prato-Sillaro-Lineament ein fast einheitliches Kluftnetz herrscht, wenn auch die verschiedenen Richtungen in den einzelnen Bereichen verschieden stark in Erscheinung treten.

Wie aus der Tabelle 15 zu ersehen, ist die Korrelation der Richtungsverteilung (Azimute) von Kluft- und Entwässerungsnetz sowie von Klüften im Luftbild und im Gelände im Untersuchungsgebiet gesichert.

Tabelle 15

SPEARMAN's Rang-Korrelationskoeffizient "r_s"

Meßbereich	Kluft- + Entwässerungsnetz	Klüfte + Luftbild + Gelände
I	+ 0.660	+ 0.691
II	+ 0.930	+ 0.895
III	+ 0.840	+ 0.778
IV	+ 0.902	+ 0.891
V	+ 0.790	
X	+ 0.824	+ 0.813

6. Interpretation der Ergebnisse und ihre Bedeutung für das Prato-Sillaro-Lineament (PSL)

Ziel dieser vorliegenden Arbeit ist es, die Anwendung der photogeologischen und gefügekundlichen Methoden am Beispiel des Prato-Sillaro-Lineament und seiner Umgebung zu untersuchen, um die Brauchbarkeit dieser Methoden zu prüfen. Um dieses Ziel der Untersuchung zu erreichen, wurden die tektonischen Charakteristika des PSL und seiner Umgebung mit Hilfe der oben erwähnten Methoden untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen hier nun diskutiert werden.

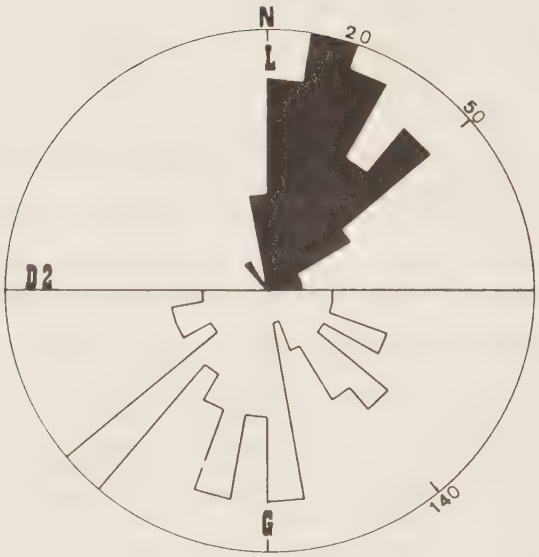
Bei den Kluftnetz-Messungen wurden in der Umgebung des PSL (Bereich I - IV, Kap. 4.1.1., 4.1.2., 4.1.3. und 4.1.4.) zwei bevorzugte Richtungen, NE und ESE, festgestellt. Im Bereich des PSL selbst tritt dagegen nur die Richtung NE hervor (Kap. 4.1.5.). Dadurch läßt sich die Existenz des Prato-Sillaro-Lineamentes auch mit Hilfe photogeologischer Methoden nachweisen (die Existenz des PSL ist zwar von vielen Autoren angenommen, aber nicht gezielt untersucht worden), so daß die Geländebeobachtungen und Annahmen vorangegangener Bearbeiter hinsichtlich des PSL nunmehr durch exakte Messungen belegt werden konnten.

Die Untersuchungen in diesem Gebiet ergaben auch, daß das PSL k e i n e einzelne Störung ist, sondern eine Vielzahl von Störungen und Klüften, die sich in diese langgestreckte Zone einreihen (GROSCURTH & HEMMER 1973).

Dieses Ergebnis wurde auch durch die gefügekundlichen Messungen im Gelände (Kap. 5.2.) bestätigt. Die Geländemessungen sollten die Luftbildauswertung kontrollieren und ergänzen. Ihre diesbezügliche Funktion wird beim Studium der aus Luftbild- und gefügekundlichen - Messungen kombinierten Kluftrosen (Taf. 15 - 18) deutlich; in der Luftbildauswertung treten die flacheinfallenden Klüfte (100° - 140°) zurück, welche jedoch durch die Geländemessungen erfaßt werden konnten.

Die insgesamt recht gute Übereinstimmung in allen fünf Meßbereichen zeigt, daß die überwiegende Zahl der Störungen und Klüfte hauptsächlich der Richtung NNE folgen. Diese NNE-Richtung ist mit der Richtung der Deckenbewegung, der Haupteinengungsrichtung des Nordapennins, identisch. Störungen in dieser Richtung haben als synsedimentäre Abschiebungen innerhalb der geosynklinalen Entwicklung des Nordapennins eine Rolle gespielt (GÖRLER 1962, GÖRLER & IBBEKEN 1963, GÖRLER & REUTTER 1964). Ihre Entstehung wird von WUNDERLICH (1965) als Folge einer Rotation des Nordapennins entgegen dem Uhrzeigersinn interpretiert und damit in einen Zusammenhang mit den Plattentektonik-Hypothesen gestellt.

Hinweise auf die tektonischen und lithologischen Unterschiede im Untersuchungsgebiet geben die D_K -, K - und D_E - Werte (Kap. 4.2. und 4.3.). Es wurden für das Gebiet westlich des PSL folgende Zahlen errechnet :

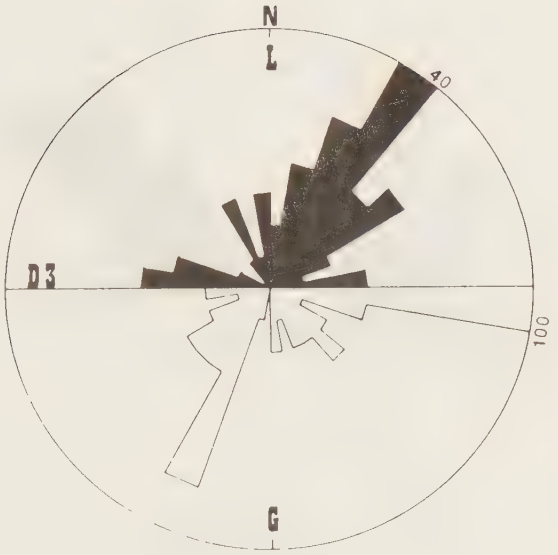


Taf. 15

Richtungsrose, aus den 216 Kluft- und Störungsmessungen im Luftbild und aus den 250 Kluftmessungen im Gelände für den Bereich der Cantiere-Monghidoro-Einheit (Bereich I) erstellt. Die Trennflächen sind nach ihrer Streichrichtung aufgegliedert. Die Strahlen der Rose nehmen die gesamte Intervallbreite ein.

L - Messungen im Luftbild (dunkel)

G - Messungen im Gelände (hell)

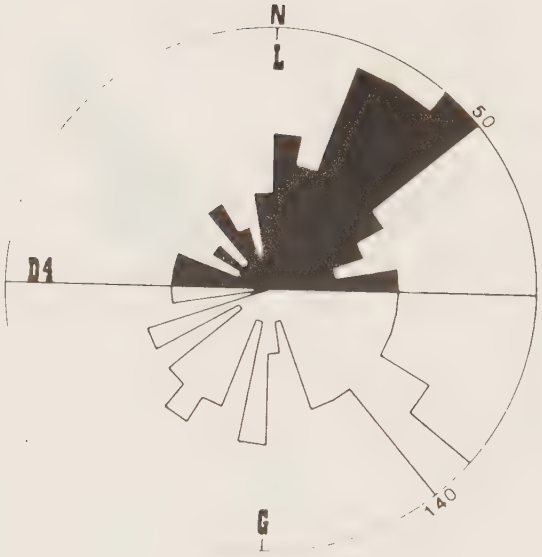


Taf. 16

Richtungsrose, aus den 213 Kluft- und Störungsmessungen im Luftbild und aus den 343 Kluftmessungen im Gelände für den Bereich der Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL (Bereich II) erstellt. Die Trennflächen sind nach ihrer Streichrichtung aufgegliedert. Die Strahlen der Rose nehmen die gesamte Intervallbreite ein.

L - Messungen im Luftbild (dunkel)

G - Messungen im Gelände (hell)

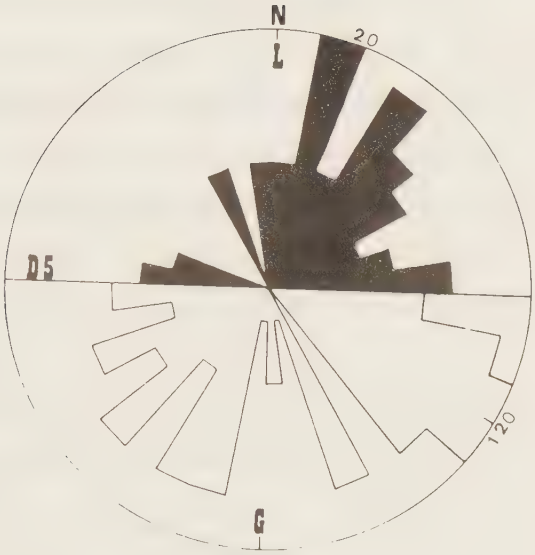


Taf. 17

Richtungsrose, aus den 254 Kluft- und Störungsmessungen im Luftbild und aus den 331 Kluftmessungen im Gelände für den Bereich der Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL (Bereich III) erstellt. Die Trennflächen sind nach ihrer Streichrichtung aufgegliedert. Die Strahlen der Rose nehmen die gesamte Intervallbreite ein.

L - Messungen im Luftbild (dunkel)

G - Messungen im Gelände (hell)



Taf. 18

Richtungsrose, aus den 171 Kluft- und Störungsmessungen im Luftbild und aus den 329 Kluftmessungen im Gelände für den Bereich der Formazione Marnoso-Arenacea (Bereich IV) erstellt. Die Trennflächen sind nach ihrer Streichrichtung aufgegliedert. Die Strahlen der Rose nehmen die gesamte Intervallbreite ein.

L - Messungen im Luftbild (dunkel)

G - Messungen im Gelände (hell)

D_K = 1.47, K = 1.19 und D_E = 1.75 für Bereich I,

D_K = 1.61, K = 1.42 und D_E = 2.24 für Bereich II;

demgegenüber lauten die Zahlen für das Gebiet östlich des PSL wie folgt :

D_K = 1.92, K = 1.76 und D_E = 2.75 für Bereich III,

D_K = 1.35, K = 1.42 und D_E = 2.26 für Bereich IV.

Diese Werte sind ein Beweis für eine unterschiedliche tektonische und fazielle Entwicklung beiderseits des PSL. Besonders deutlich lassen sich solche unterschiedlichen Entwicklungen ablesen, wenn man die Modino-Cervarola-Einheit (Bereich II und III) gesondert betrachtet (D_K = 1.61/1.92, K = 1.42/1.76 und D_E = 2.24/2.75).

Der westliche Teil der Modino-Cervarola-Einheit (Bereich II), für den im Neokom - Alttertiär starke Absenkung postuliert wird (HEMMER 1971), ist durch mächtige Schichtfolgen (Modino-Basis-Serien, Modino-Sandstein, Pievepelago-Formation) charakterisiert. Demgegenüber herrscht im gleichen Zeitraum weiter südlich des PSL eine kalkig-pelitische Sedimentation (Nummulitico, Scisti Varicolori) vor. Die eigentliche Auseinander-Entwicklung der westlichen und östlichen Teilbereiche der Modino-Cervarola-Einheit (Bereich II und III) beginnt ab Ober-Eozän. So sind im Dolo-Tal (Ober-Eozän bis Oligozän/Aquitan) 2500 m mächtige Flyschsedimente (Modino-Sandstein, Pievepelago-Formation etc.) abgelagert worden (RENTZ 1971), während östlich des PSL nur etwa 100 m pelitisch-pelagische Scisti Varicolori zur Ablagerung kamen (GROSCURTH 1971, HEMMER 1971 u.a.). Im Monti-Calvi-Gebiet kamen 2000 m Sandstein mit Konglomerat-Einschaltungen zur Ablagerung, während östlich des PSL die

primäre Mächtigkeit des Sandsteins stellenweise nur 200 m beträgt (HEMMER 1971). Die Cervarola-Hangend-Serien (Olisthostrom-Serien und Suviana-Serien) westlich des PSL sind 1200 m mächtig, dagegen sind sie östlich des PSL durch Argille (Mergel) von nur wenigen m Mächtigkeit vertreten (HEMMER 1971).

Die genannten Fazies-Änderungen und starken Mächtigkeitsunterschiede spiegeln sich in den unterschiedlichen D_K -, K- und D_E - Werten westlich und östlich des PSL wider. Die Kluftdichte, Klüftigkeit und Entwässerungsdichte sind darüberhinaus auch geeignet, neben diesen Faziesvariationen den tektonischen Baustil der dazugehörigen Gesteinskomplexe zu zeigen. Diese Tatsache ist im Bereich III östlich des PSL zu sehen, wo die D_K -, K- und D_E - Werte höher liegen als in den übrigen Bereichen. Diese Tatsache kann dahingehend erklärt werden, daß das Verbreitungsgebiet des Futa-Schuppen-Komplexes (östlich des PSL) im Kreuzpunkt zweier großtektonischer Elemente liegt (NW - SE und NE - SW verlaufende Störungszonen). Diese Beanspruchung äußert sich in der tektonischen Einengung parallel zu den beiden Störungszonen (HEMMER 1971). Weiter kommt als Ursache dieses besonderen Baustils das diapirähnliche Verhalten der inkompetenten Liegend-Serien (Tone, Mergel etc.) in Frage mit dem Ergebnis, daß die kompetenten Serien (Sandsteine etc.) in einzelne Scherben zerbrechen (Scherbentektonik, RICHTER 1963). Eine ähnliche Funktion wie die Mergel-Serien üben die Scisti Varicolori (bunte Tone) aus, indem sie im Liegenden des Cervarola-Sandsteins als Abscherungs- und Gleithorizonte dienen und damit die intensive Verschuppung des Cervarola-Sandsteins bewirken (HEMMER 1971). Diese besondere Beanspruchung spiegelt sich wiederum in den höheren D_K -, K- und D_E -Werten wider.

Die Formazione Marnoso-Arenacea (Bereich IV) weist niedrige D_K -, K - und D_E - Werte (1.35, 1.42 und 2.26) auf als die angrenzende Modino-Cervarola-Einheit (Bereich III : 1.92, 1.76 und 2.75). Diese Feststellung kann dahingehend erklärt werden, daß die Einheiten westlich der Formaztone Marnoso-Arenacea durch die Dislokation ihrer Tröge stärkerer tektonischer Beanspruchung ausgesetzt waren. Dies bedeutet wiederum, daß die Formazione Marnoso-Arenacea in einem gesonderten Trog zur Ablagerung kam, wo sie im wesentlichen heute zu finden ist, und damit keinen größeren Transport erfahren hat. Diese Tatsache bekräftigt die Annahme einer autochthonen Stellung für die Formazione Marnoso-Arenacea und einer allochthonen bis para-autochthonen Stellung für die Einheiten an ihrer westlichen Seite (REUTTER 1968, GROSCURTH 1971 u.a.).

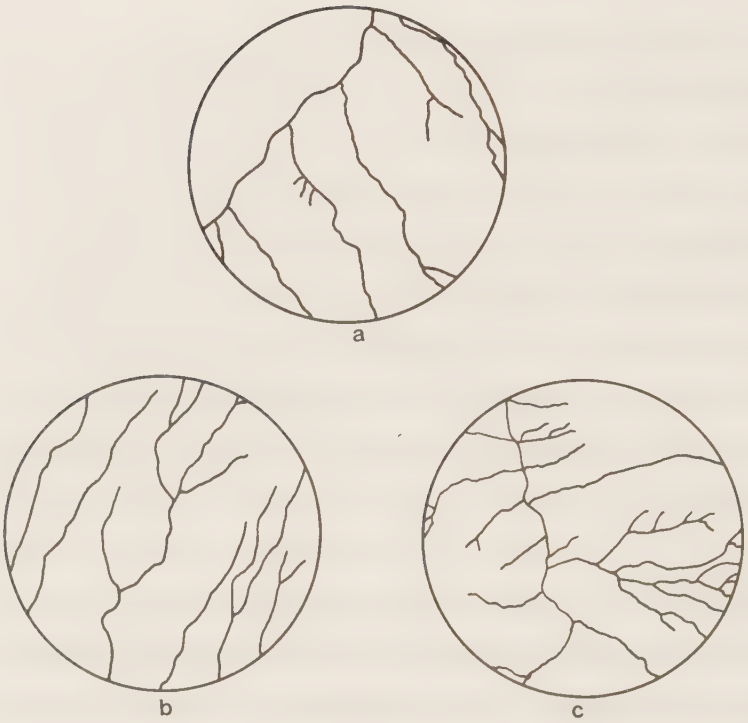
Die Analyse des Entwässerungsnetzes erlaubt gewisse Rückschlüsse auf die im Untersuchungsgebiet entstehenden Gesteinstypen und deren Lagerungsverhältnisse. Nach KRONBERG (1967) ist das Auftreten von gewissen Grundtypen von Flußnetzen von bestimmten Kombinationen lithologischer und struktureller Faktoren abhängig. Die Ausrichtung und Aufgliederung des Flußsystems ist hauptsächlich durch strukturelle Faktoren (Lagerungsverhältnisse, Art und Intensität der Klüftung, Vorhandensein oder Fehlen von Störungen) bedingt. Dagegen variiert die Flußdichte mit dem lithologischen Charakter der einzelnen Bereiche (Härte, Permeabilität, Schichtung und Löslichkeit).

Im Untersuchungsgebiet herrscht offensichtlich ein System von spalierartigen und parallelen Flußsystemen vor (Taf. 15 a, 15 b) . Flußnetze dieser Art entwickeln

sich auf Sandsteinen, Grauwacken oder auf Intrusivmassen, wenn diese von größeren Störungszonen und steil dazu aufsitzenden Klüften und Störungen durchzogen sind (KRONBERG 1967). Die Aufgliederung und Ausrichtung solcher Flußsysteme ist also strukturell bedingt. Diese Feststellung ist im Untersuchungsgebiet deutlich zu sehen, indem die größeren Flüsse Setta, Idice u.a. (westlich des PSL) den NNE verlaufenden großen Störungszonen und die Flüsse Santerno, Sieve etc. den ESE verlaufenden großen Störungszonen folgen. Die Nebenflüsse fließen entlang den von kleinen Klüften und Störungen vorgezeichneten Linien. Diese Tatsache ist ein erster Hinweis auf die unterschiedliche fazielle Entwicklung westlich und östlich des PSL.

In der Tat wurde bei der Auswertung des Entwässerungsnetzes festgestellt, daß das Entwässerungsnetz im Untersuchungsgebiet zum größten Teil tektonisch kontrolliert ist. Die mehr oder weniger geradlinig verlaufenden Haupt- und Nebenflüsse zeigen deutlich bevorzugte Richtungen, welche mit denen der Störungen und Klüfte identisch sind (Kap. 5.1.).

Trotzdem ist eine Tendenz zur Entwicklung eines dendritischen Flußsystems (Taf. 19 c) in den Gebieten zwischen den größeren Flüssen (Santerno, Sieve östlich des PSL) zu erkennen. Diese Feststellung wird deutlicher, wenn man die Modino-Cervarola-Einheit (Bereich III östlich des PSL) gesondert betrachtet. Hier ist die Flußdichte (D_E) wesentlich höher (2.75). Diese höhere Flußdichte ist durch das Vorherrschen inkompetenter Gesteine in diesem Gebiet (HEMMER 1971) bedingt. Solche inkompetenten Gesteine (Scisti Varicolori, Mergel etc.), die



Taf. 19

Zum visuelle Vergleich der unterschiedlichen Flußnetztypen im Untersuchungsgebiet.

a) Ein Beispiel eines spalierartigen Flußnetzes im Bereich I

(Cantiere-Monghidoro-Einheit, Fluß Idice)

b) Ein Beispiel eines parallelen Flußnetzes im Bereich III

(Modino-Cervarola-Einheit östlich der PSL, Fluß Sieve)

c) Ein Beispiel eines dendritischen Flußnetzes im Bereich II

(Modino-Cervarola-Einheit westlich der PSL, Fluß Gambellato)

durch ihre Undurchlässigkeit und Erosionsbeständigkeit charakterisiert sind, begünstigen eine Entwicklung eines dendritischen Flußsystems.

Die geringe Variationsbreite von 1.75 - 2.75 für die Entwässerungsdichte zeigt deutlich die lithologische Gleichförmigkeit des Untergrundes im Untersuchungsgebiet. Diese mit exakten Zahlen belegte Feststellung bestätigt die Beobachtungen vorangegangener Bearbeiter (GENTZ 1970, GROSCURTH 1971, HEMMER 1971 u.a.), die in den von ihnen untersuchten Gebieten westlich und östlich des PSL das Auftreten von kompetenten (Sandsteine, Grauwacken) und inkompetenten Gesteinen (Mergel, Argille etc.) beschrieben haben. Diese Tatsache könnte die aktuellen geologischen Hypothesen von der Geosynklinalentwicklung in der Apennin-Geologie (AUBOUIN 1965, REUTTER 1966, 1968 u.a.) bekräftigen.

Insgesamt ist zu erkennen, daß im Untersuchungsgebiet ein einheitliches Kluftnetz und ein von der Tektonik weitgehend abhängiges Entwässerungsnetz vorherrschen. Dieses Ergebnis zeigt, daß eine auf Luftbildinterpretation basierende Untersuchung auch im Nordapennin gut und sinnvoll durchgeführt werden kann. Es zeigt sich auch, daß bereits beim Einsatz eines Spiegelstereoskops nahezu alle Parameter zu bestimmen sind, die für die quantitative Auswertung erforderlich sind. Da im Arbeitsgebiet keine großen Höhenunterschiede (ca. 400 m) bestehen, ist das Verfälschen des wahren Streichens der Klüfte sehr gering.

Die vorstehende Aussage kann für diesen Fall getroffen werden, da mit Hilfe der Auswertung am Stereotop eine exakte Darstellung des Flußnetzes erzielt wurde, die sich in der Lagegenauigkeit nur geringfügig von den Einzelinterpretationen, die unter dem Spiegelstereoskop gezeichnet wurden, unterscheidet.

7. BEANSPRUCHUNGSPLAN

7.1. Regional

Für die Analyse des allgemeinen Baustils des Untersuchungsgebietes wurden die im Gelände gewonnenen Meßwerte von Schichtflächen im SCHMIDT'SCHEN-Netz (untere Lagenkugel) dargestellt und ausgezählt. Es wurden zwei Diagramme angefertigt :

1) Aus den Meßwerten im Para-Autochthon und Autochthon (Modino-Cervarola-Einheit und die Formazione Marnoso-Arenacea)
2) Aus den Meßwerten im gesamten Untersuchungsgebiet einschließlich des Allochthons (Cantiere-Monghidoro-Einheit)

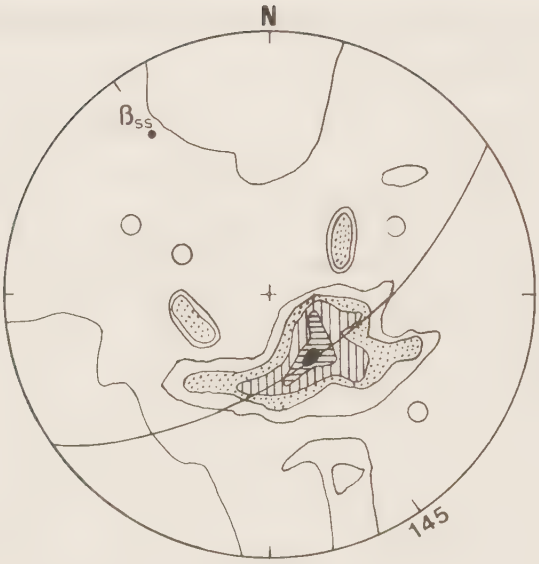
Das Diagramm Taf.20 , als Sammeldiagramm aller im Para-Autochthon und Autochthon gemessenen Schichtflächen, zeigt, daß der $\overline{\Pi}$- Kreis eine deutliche NW - SE - Orientierung (145 ^{o}) der Achsen mit Eintauchen nach NW erkennen läßt.

Im Diagramm Taf. 21 ergibt sich aus den Maxima eine Faltenachsen-Richtung bei 135 ° / 25 ° NW und bei 20/20 ° NE. Diese Feststellung zeigt die verschiedenartige Beanspruchung des Allochthons an. Die Faltung im Allochthon (Cantiere-Monghidoro-Einheit) hat zum Teil vor der Faltung im Para-Autochthon bzw. Autochthon stattgefunden.

Weiterhin wurden 4 Kluftrosen (Taf. 22 - 25) angefertigt, in denen die Ergebnisse der Gelände- und Luftbildmessung jeweils getrennt dargestellt sind. In allen 4 Diagrammen ist deutlich zu erkennen, daß die flacheinfallenden Klüfte (120 ° - 140 °) in der Luftbildauswertung zurücktreten, welche jedoch durch die Geländemessungen erfaßt werden konnten.

Die Kluftrose (Taf. 22) zeigt für die Cantiere-Monghidoro-Einheit (Allochthon) bevorzugte Richtungen bei 20 °, 50 °, 120 °, 140 ° und 180° an. Die bevorzugten Richtungen der tektonischen Trennflächen in der Modino-Cervarola-Einheit (Para-Autochthon) zeigen Taf. 23 und 24 an. Es sind Maxima bei 40 °, 60 °, 100 °, 140 °, und 180 ° westlich des PSL und bei 10 °, 30 °, 50 °, 70 ° und 140 ° östlich des PSL zu beobachten. Für die Formazione Marnoso-Arenacea (Autochthon) sind im Taf. 25 Maxima bei 20 °, 40 °, 60 °, 90 °, 120 °, 160 ° und 180 ° zu erkennen.

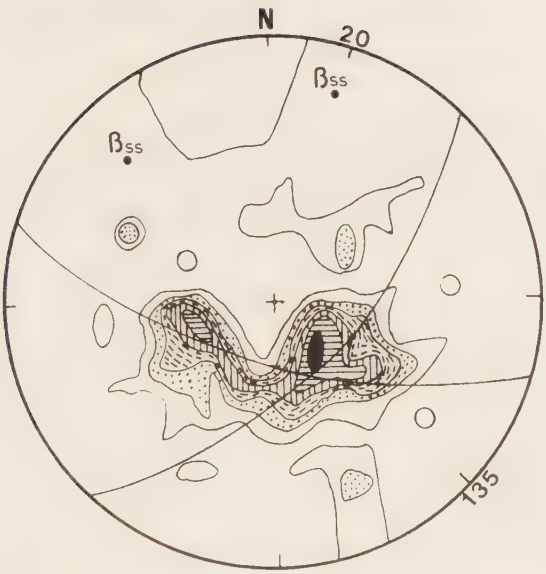
Die konstruierten Faltenachsen im Taf. 20 und 21 (135 - 145 / 25 ° NW und 20 / 20 ° NE) stimmen mit den Ergebnissen von STRUENSEE (1967), HEYMANN



Taf. 20

Sammeldiagramm aller im Para-Autochthon und Autochthon gemessenen Schichtflächen (398 ss-Flächenpole) .

Konstruierte Faltenachse $ß_{ss}$ = 145 / 25 ° NW



Taf. 21

Sammeldiagramm aller im Untersuchungsgebiet gemessenen Schichtflächen

(518 ss-Flächenpole) einschließlich des Allochthons

(Cantiere-Monghidoro-Einheit).

Konstruierte Faltenachsen $ß_{ss}$ = 135 / 25 ° NW und 20 / 20° NE

(1968), FREY (1969), GROSCURTH (1971), HEMMER (1971) und RENTZ (1971) überein. Unter diesen Gesichtspunkten sei der Zusammenhang der Störungs- und Kluftrichtungen mit einem Spannungsellipsoid betrachtet. Die längste Achse des Ellipsoids entspricht dem b-Achse (Deformationsachse) und die zweite Achse des Ellipsoids zeigt die Richtung der stärksten Einengung "a" an.

Für die Cantiere-Monghidoro-Einheit (Allochthon) können die parallel zur b-Achse angeordneten Klüfte bei 20 ° als Klüfte nach bc angesprochen werden. Senkrecht zur b-Achse also in "a", in der Richtung der stärksten Einengung, treten die ac-Klüfte bei 120 ° auf. Diagonal zu b und a erscheinen die hko-Scherflächen bei 50 ° und 140° (Taf. 22).

Für die Modino-Cervarola-Einheit (Para-Autochthon) ergibt sich westlich des PSL folgendes : Klüfte nach bc bei 140 ° d.h. Auf- und Überschiebungen, die sich aus der Faltentektonik entwickeln und als Schuppenbahnen fungieren. Bei 40 ° / 60 ° erscheinen ac-Klüfte und bei 30 °, 100 ° und 180° Scherklüfte (Taf. 23). Östlich des PSL ergibt sich im Taf. 24 ein ähnliches Bild. Es erscheinen ac-Klüfte bei 40 ° / 50 °, bc - Klüfte bei 140 ° und Scherklüfte bei 10 °, 70 ° und 90°.

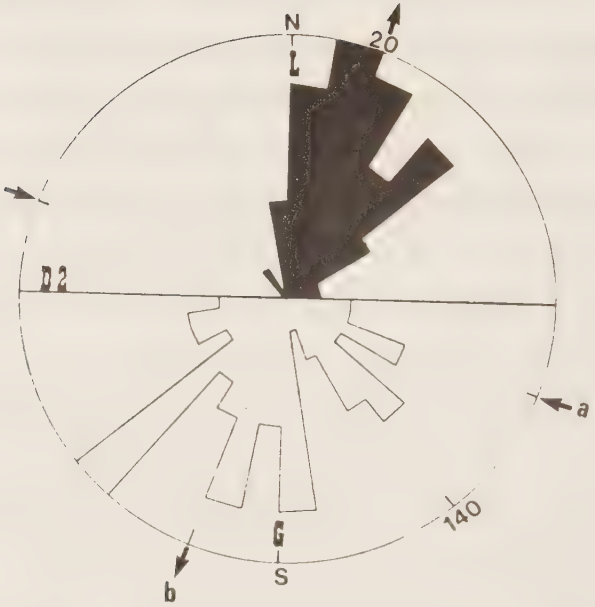
Für die Formazione Marnoso-Arenacea (Autochthon) gibt die Darstellung der Meßwerte im Taf. 25 folgendes an: ac-Klüfte bei 40 ° / 50 °, bc-Klüfte bei 130 ° / 140 ° und Scherklüfte bei 20 °, 70 ° / 90 °, 160 ° / 180 °.

Die Lage der konstruierten Faltenachsen ist für das Para-Autochthon (Modino-Cervarola-Einheit) und das Autochthon (Formazione Marnoso-Arenacea) einheitlich apenninisch ($ß_{ss}$ = 135 / 25 ° NW). Ihre in den Diagrammen (Taf. 20 - 21) peripher gelegenen Maxima weisen sie als Bildungen eines einheitlichen, SW-NE-gerichteten Beanspruchungsplanes aus. Dagegen ergibt sich für das Allochthon (Cantiere-Monghidoro-Einheit) ein NW-SE-gerichteter Beanspruchungsplan (antiapenninisch, $ß_{ss}$ = 20 ° / 20 ° NE).

7.2. Global

Die Lineamente sind die Erdnähte, welche zu klaffenden Gräben aufrissen, die Gleise, längs derer sich Kontinente spalten und auseinander driften. Sie durchzogen netzartig die Erdkruste seit Beginn ihres Bestehens und glichen als Gleitschienen die auftretenden Spannungen durch Blattverschiebungen aus (ILLIES 1965). Nach ILLIES können diese Blattverschiebungen nicht mit örtlich oder zeitlich begrenzten Faltungserscheinungen in Verbindung gebracht werden.

Seit dem Erscheinen der Arbeit von MOODY & HILL (1956) sind auf allen Kontinenten Systeme derartiger altangelegter Blattverschiebungen beschrieben worden. Bei allen beschriebenen Lineamenten ist bekannt, daß deren Richtungen über weite Strecken konstant bleiben. Sie sind nicht an Alter, Bau und Geschichte der verschiedenen Krusteneinheiten, die sie überqueren, gebunden. MOODY & HILL (1956) nahmen an, daß diese Blattverschiebungen aus einer Nord-Süd gerichteten Kompression entstanden sind, wobei die Scherflächen in einem Winkel von 30 °



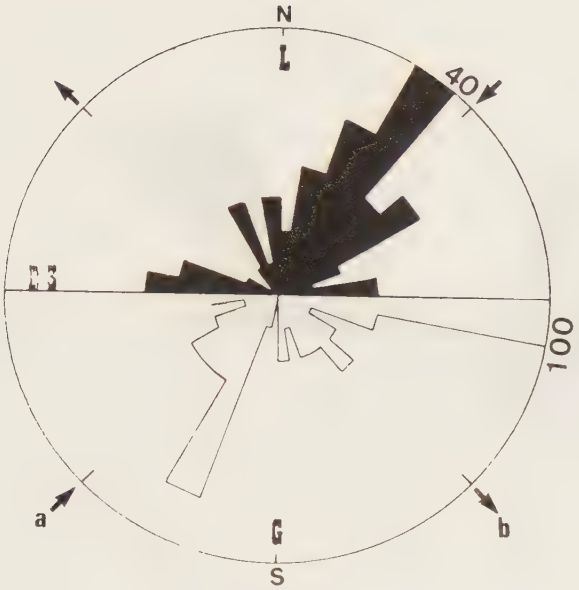
Taf. 22

Beanspruchungsplan für den Bereich des Allochthons (Cantiere-Monghidoro-Einheit). Richtungsrose, aus 216 Kluftmessungen im Luftbild und 250 Kluftmessungen im Gelände erstellt.

b = β_{ss} = 20 / 20° NE

Luftbildmessung = dunkel

Geländemessung = hell



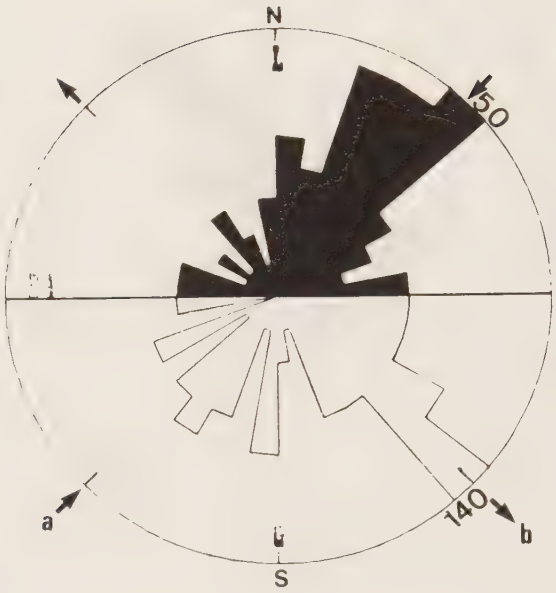
Taf. 23

Beanspruchungsplan für den Bereich des Para-Autochthons (Modino-Cervarola-Einheit westlich des PSL).Richtungsrose, aus 213 Luftmessungen im Luftbild und 343 Kluftmessungen im Gelände, erstellt.

b = β_{ss} = 135 / 25° NW

Luftbildmessung = dunkel

Geländemessung = hell



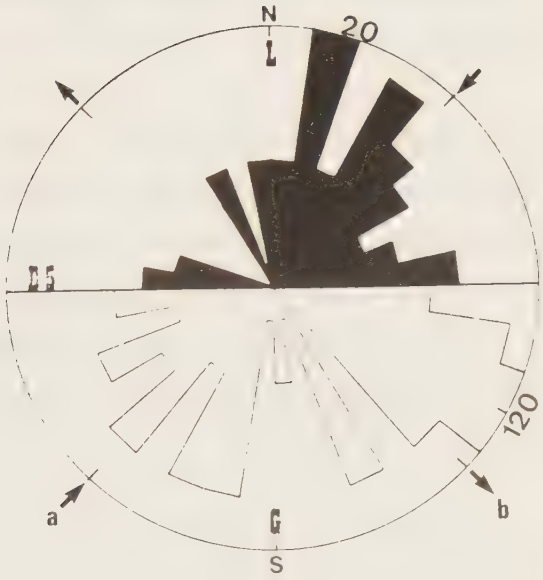
Taf. 24

Beanspruchungsplan für den Bereich des Para-Autochthons (Modino-Cervarola-Einheit östlich des PSL). Richtungsrose, aus 254 Luftmessungen im Luftbild und aus 331 Kluftmessungen im Gelände, erstellt.

b = β_{ss} = 135 / 25 ° NW

Luftbildmessung = dunkel

Geländemessung = hell



Taf. 25

Beanspruchungsplan für den Bereich des Autochthons (Formazione Marnoso-Arenacea). Richtungsrose, aus 171 Kluftmessungen im Luftbild und 329 Kluftmessungen im Gelände, erstellt.

b = β_{ss} = 135 / 25 ° NW

Luftbildmessung = dunkel

Geländemessung = hell

symmetrisch zu der Hauptstreßrichtung liegen.

THAMM (1969) spricht von der Häufigkeit des 90° - und 45° - Schnittwinkels zwischen Bruchstrukturen und der vorherrschenden Stellung der NW und NE - Richtungen.

Nach AUBOUIN (1971) herrscht im gesamten mediterranen Raum ein Verwerfungssystem mit NW-SE und NE-SW - Richtungen vor. Über die Ursachen der in der Erdkruste vorhandenen Spannungen, die für die Entstehung von Lineamenten verantwortlich sind, bestehen viele konträre Meinungen. MOODY & HILL (1956) sehen die Ursachen in einer Kontraktion der Erde durch Abkühlung zusammen mit Kräften, die durch subkrustale Konvektionsströme oder durch Erdrotation und Polfluchtkräfte entstehen.

Dagegen sehen andere Autoren u.a. BÜLOW (1958 / 1959, 1959) die Ursachen nicht in einer Kontraktion der Erde, sondern in einer Expansion der Erde.

KNETSCH (1964) folgerte aus dem Ergebnis seines " Tonkugel-Experiments", bei dem auf der Tonkugel durch die Rotationswirkung reproduzierbare Schwächeflächen-Netze entstanden sind, die den Groß-Lineament-Mustern der Erde ähneln, daß die geologischen Lineamente weitgehend auf die Rotation zurückgeführt werden können.

Nach WELLS (1963) ist die Abnahme der Rotationsgeschwindigkeit, neben einer gleichförmigen Rotation, für die Entstehung der Lineamente maßgebend.

KERTZ (1969) sieht die epirogenetischen und orogenetischen Veränderungen der Erdkruste, die zu unregelmäßigen Schwankungen führen, als Ursache für die vorhandenen Spannungen auf der Erdkruste.

GILLILAND (1964, 1973) forderte, daß entsprechend der zonalen Rotation von Sonne, Jupiter und Saturn, auch im Erdmantel solche differentielle Rotation mit ostwärts gerichteten Bewegungen in Äquatornähe existiere. Nach seiner Meinung sind sie für die E - W ausgerichteten Brüche der Ozeanböden verantwortlich.

Nach ROLAND (1976) kann eine Rotationsgeschwindigkeitsänderung am ehesten zu einer dauernden Spannung in der Erdkruste führen. Bei seiner vergleichenden Untersuchung der azimutalen Verteilung der Mars-Lineationen und der tektonischen Messungen (photo-geologische Messungen) auf der Erde stellte er fest, daß die markanten Maxima des Mars-Lineationsnetzes (0°, 50°, 90° und 140°) auf der Erde, eventuell nach 40° und 130° verschoben, häufig vertreten sind. Er folgerte daraus, daß diese Richtungen einem globalen tektonischen Standardnetz zuzurechnen sind. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus den Untersuchungen von LIST & STOCK (1969), ROLAND (1973, 1974) in Nordafrika (Zentral-Sahara), POHLMANN (1976) in Bolivien u.a., wobei auch Maxima bei 0°, 50°, 90° und 140° ermittelt werden konnten, versuchte ROLAND (1976) die These des globalen Beanspruchungsplanes zu bekräftigen.

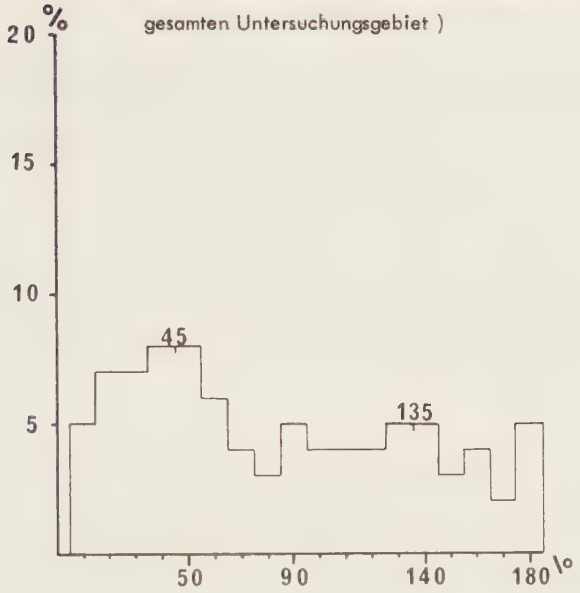
Diese Gesetzmäßigkeiten in der azimutalen Verteilung von Bruchstrukturen auf der Erde veranlaßten MOODY & HILL (1956) zu der Annahme, daß die Erdkruste von Blattverschiebungssystemen (wrench fault systems), die aus einer etwa Nord-Süd gerichteten Kompression entstanden, durchzogen ist. Diese Annahme wurde auch von KNETSCH (1964) bekräftigt.

Wenn man die Meßergebnisse der Kluftnetz-Messung, bei Einbeziehung der Entwässerungsnetze - die stark tektonisch kontrolliert sind, für das gesamte Untersuchungsgebiet addiert und die Mittelwerte nimmt, ergeben sich im Histogramm Taf. 26 Maxima bei 45 °, 90 °, 135 ° und 180 ° . Diese Feststellung erklärt die unterschiedlichen Auffassungen über die Bewegungsrichtungen der Decken im Nordapennin: Die EW- bzw. WE-Bewegungen STEINMANNS (1907) u.a., der NS-Deckenschub STAUBS (1924) und NE-SW (1951). Nach Meinung von WUNDERLICH (1958) besteht auch die Möglichkeit, daß die randliche Überfahrung der Nordapennin Scaglia- bzw. Flysch-Becken von den umgebenden Hebungszonen aus in mehreren der genannten Richtungen gleichermaßen erfolgt, so daß ein Senkungsraum von allen Seiten her eingeengt und überschoben wird.

Die ermittelten Maxima für das gesamte Untersuchungsgebiet (45 °, 90 °, 135 ° und 180 °) stimmen überein mit dem Untersuchungsergebnis von ROLAND (1976). Er konstruierte mit diesen Werten (0 °, 50 °, 90 °, 140 °) einen globalen Beanspruchungsplan (Taf. 27). Nach diesem Beanspruchungsplan resultieren Druckkräfte in der Nord-Süd-Richtung, Zugkräfte in der Ost-West-Richtung und Scherkräfte in

Taf. 26

Richtungsverteilung der Klüfte (Luftbildmessungen unter Einbeziehung der Entwässerungsnetze im gesamten Untersuchungsgebiet)



Taf. 27

Aus den primär SSE und NNE gerichteten Hauptstreßrichtungen und den entsprechenden Richtungen der Gegenkräfte ist der globale Beanspruchungsplan konstruiert (von ROLAND 1976)

den Richtungen NE - SW und NW - SE.

Nach Meinung von ROLAND (1976) könnte ein tektonisches Standardnetz - in Verbindung mit diesem globalen Beanspruchungsplan - einige geologische Phänomene ohne komplizierte Hypothesen verständlich machen : Die von KNETSCH (1965), TANNER (1973) u.a. erwähnte äquatorparallel beanspruchte Zone, die Nord-Süd bzw. Süd-Nord gerichtete Kompression von MOODY & HILL (1956) und die West-Ost gerichtete Dilatation von TANNER (1963) u.a. werden verständlich.

Der Verfasser der vorliegenden Arbeit ist der Auffassung, daß das dargelegte Standardnetz für das von ihm untersuchte Gebiet, unter Berücksichtigung aller oben genannten Thesen, als Folge eines globalen Beanspruchungsplanes zu sehen ist. Aus der Tatsache, daß Stauchungen auf einer Kugel an einer Stelle zu Dehnungen an anderer Stelle führen müssen, ist durch die N-S-Kompression E-W gestreckte Faltengebirgsgürtel zu erwarten. Außerdem ist das Auftreten von N-S gestreckten Faltengebirgen kein Widerspruch (ROLAND 1976). Der heute NW-SE streichende Nordapennin geriet erst durch eine Rotation des Nordapennin-Systems in seine heutige Lage.

Unter Berücksichtigung aller dieser Feststellungen und Thesen können nach Meinung des Verfassers dieser Arbeit für die Entstehung des Prato-Sillaro-Lineaments weitgehend planetarische Kräfte angenommen werden. Dies bedeutet, daß es sich hier um ein reaktiviertes Element, d.h. um ein wiederbenutztes Bruchmuster, handelt. Es müßte ange-

nommen werden, daß das Prato-Sillaro-Lineament von Geosynklinen zeitweilig überwältigt wurde und nach deren Konsolidierung sich dann wieder abgebildet hat.

8. Zusammenfassung der Ergebnisse

Durch Kombination von Luftbild- und gefügekundlichen - Messungen konnten im Untersuchungsgebiet folgende Ergebnisse erzielt werden :

1. Die Existenz des Prato-Sillaro-Lineaments (PSL) konnte mit Hilfe photogeologischer Methoden nachgewiesen werden, womit die Geländebeobachtungen vorangegangener Bearbeiter hinsichtlich des PSL nunmehr durch exakte Messungen belegt sind.

2. Die Untersuchungen haben ergeben, daß das Prato-Sillaro-Lineament k e i n e einzelne Störung ist, sondern eine Vielzahl von Störungen und Klüften, die sich in diese langgestreckte Zone einreihen.

3. Die insgesamt recht gute Übereinstimmung der Kluftrichtungen in allen Meßbereichen westlich und östlich des PSL (Cantiere-Monghidoro-Einheit, Modino-Cervarola-Einheit und die Formazione-Marnoso-Arenacea) ergibt, daß hauptsächlich zwei Kluftrichtungen (NNE und ESE) vorherrschen.

4. Im Untersuchungsgebiet zeigt sich deutlich, daß die überwiegende Zahl der Klüfte und Störungen (in allen Meßbereichen I - V) hauptsächlich der Richtung NNE folgen. Diese NNE - Richtung ist mit der Richtung der Deckenbewegung im Nordapennin, d.h. der Richtung der Haupteinengung, identisch.

5. Die D_K -, K - und D_E - Werte (Kluftdichte, Klüftigkeit und Entwässerungsdichte) geben gute Hinweise auf die tektonischen und faziellen Unterschiede westlich und östlich des PSL.

6. Die unterschiedliche D_K -, K - und D_E - Werte in den beiden Bereichen der Modino-Cervarola-Einheit (Bereich II und III) westlich und östlich des PSL beweisen deutlich die Stellung des PSL als Faziesgrenze. Die Fazies-Änderungen und die starken Mächtigkeitsunterschiede spiegeln sich in den unterschiedlichen D_K -, K- und D_E - Werten beiderseits des PSL wider.

7. Die geringere D_K -, K- und D_E - Werte für die Formazione Marnoso-Arenacea im Vergleich zu denen von der angrenzenden Modino-Cervarola-Einheit (1.35 / 1.92, 1.42 / 1.76 und 2.26 / 2.75) geben wertvolle Hinweise auf die autochthone Stellung der Formazione Marnoso-Arenacea.

8. Im Untersuchungsgebiet herrscht ein System von spalierartigen und parallelen Flußsystemen vor, was den Einfluß der Tektonik heraushebt. Die Korrelation der Richtungsverteilung von Kluft- und Entwässerungsnetz bestätigt diese Feststellung. Die größeren Flüsse folgen den großen Störungszonen, während die Nebenflüsse entlang den kleinen Klüften und Störungen fließen.

9. Die Tendenz zur Entwicklung eines dendritischen Flußsystems in den Gebieten zwischen den größeren Flüssen und die unterschiedlichen D_E - Werte

(Entwässerungsdichte) zeigen deutlich den Einfluß der Lithologie auf das Entwässerungsnetz.

10. Der enge Bereich von 1.75 - 2.50 für die Entwässerungsdichte in der Cantiere-Monghidoro-Einheit (Emilianiden II) und in der Modino-Cervarola-Einheit (Emilianiden I) ist ein Hinweis auf die lithologische Gleichförmigkeit des Untergrundes in diesen beiden Einheiten. Diese Feststellung bestätigt das Konzept von REUTTER & SAMES (1964) u.a. im Hinblick auf die Existenz einer emilianischen Fazies.

11. Die Auswertung der gefügekundlichen Messungen ergab einen einheitlichen SW - NE gerichteten Beanspruchungsplan für das Para-Autochthon und das Autochthon und einen NW - SE gerichteten Beanspruchungsplan für das Allochthon.

12. Der Beanspruchungsplan für das gesamte Untersuchungsgebiet wird im Rahmen eines globalen Beanspruchungsplanes diskutiert.

9. RIASSUNTO

Da combinazione di rilievi fotografici e misurazioni strutturali sul terreno concernento potevano essere ottenuti nel territori d'indagine i seguenti risultati :

1. L'esistenza del Prato-Sillaro-Lineamento poteva essere provata con l'aiuto di metodi fotogeologici per mezzo dei quali le osservazioni del terreno da parte dei relatori precedenti sul PSL sono documentate da misurazioni esatte.

2. Le indagini hanno dimostrato che il Prato-Sillaro-Lineamento n o n è il solo disturbo ma una quantita' di disturbi e fessure che si incollonnano in questa zona a largo raggio.

3. La globale ed abbastanza buona conformita' della direzione delle fessure in tutte le zone di misurazione occidentale e orientale del PSL (Unita' - Cantiere-Monghidoro, Unita' - Modino-Cervarola e la formazione Marnoso-Arenacea) dimostra che prevalgono principalmente due direzioni di fessure (NNE e ESE).

4. Nel territorio d'indagine appare chiaramente che la maggior quantita' delle fessure e disturbi (in tutte le zone di misurazione I - V) seguone principalmente la direzione NNE. Questa direzione NNE è identica

alla direzione del movimento della superficie nell'Appennino nordico, cio è alla direzione del restringimento principale.

5. I valori D_K , K e D_E (frequenza delle fessure, fessurazione, frequenza di prosciugamento) danno dei buoni indizi sulle differenze tettonichi e sulle formazioni di composizione degli strati di pietra di età uguale (facies), occidentale ed orientale del PSL.

6. I valori differenti dei D_K , K e D_E in entrambi le zone della Unita-Modino-Cervarola (zona II e III) occidentale ed orientale del PSL provano chiaramente la posizione del PSL come confine delle facies. Le variazioni delle facies e le forti differenti estensione si rispecchiano ancora nei differenti valori D_K , K e D_E di ambedue le parti del PSL.

7. I valori minori D_K , K e D_E per la formazione Marnoso-Arenacea in confronto a quelli adiacenti all'Unità-Modino-Cervarola (1.35/1.92, 1.42 / 1.76 e 2.26 / 2.75) danno indizi più valevoli sulla posizione autoctona della formazione Marnoso-Arenacea.

8. Nel territori d'indagine prevalgono dei sistemi di fiumi a spalliera e paralleli che danno risalto all'influsso della tettonica. La correlazione della distribuzione della direzione della rete della fessura e del prosciugamento conferma questo accertamento. I fiumi più grandi seguono la grande zona die disturbo mentre gli affluenti scorrono lungo le fessure e disturbi piccoli.

9. La tendenza allo sviluppo di un sistema di fiume diramato nelle zone tra i fiumi più grandi ed i differenti valori D_E (frequenza di prosciugamento) dimostrano chiaramente l'influsso della litologia sulla rete di prosciugamento.

10. La zona stretta da 1.75 - 2.50 per la frequenza di prosciugamento nell' Unità-Cantiere-Monghidoro (Emilianide II) e nell'Unità-Modino-Cervarola (Emilianide I) è un indizio sulla conformità litologica del fondo, in entrambe le unità. Questo accetamento conferma il concetto di REUTTER & SAMES (1964) rispetto all'esistenza di facies emiliane.

11. Dall'analisi delle misurazioni strutturali risulta un piano di richiesta omogeneo in direzione SO - NE peril para-autoctono e per l'autoctono ed uno in direzione NO - SE per l'alloctono.

12. Il piano dirichiesta per l'intero territorio d'indagine verrà discusso nel quadro di un piano dirichiesta globale.

10. SUMMARY

By combination of aereal and structural measurements the following results were obtained in the examination area :

1. The existence of the Prato-Sillaro-Lineament (PSL) was proved with the help of photogeological methods, thus documenting surface observations made by previous specialists.

2. The examinations have shown that the Prato-Sillaro-Lineament is n o t an individual fault but a series of faults and rifts which line this extended zone.

3. The overall rather good conformity of the rift directions in all measurement areas west and east of the PSL (Cantiere-Monghidoro-unit, Modino-Cervarola-unit and the Formazione Marnoso-Arenacea) shows that in the main two rift directions predominate (NNE and ESE).

4. It was clearly shown in the examination area that the majority of rifts and faults (in all measurement areas I - V) follow for the main part the direction NNE. This NNE direction is identical to the direction of the surface movement of the Northern Apennines, that is the direction of the main narrowing.

5. The D_K -, K - and D_E - values (rift density, riftiness and drainage density) provide good indications of the tectonic and facies differences westward and eastward of the PSL.

6. The different D_K -, K- and D_E - values in both areas of the Modino-Cervarola-unit (area II and III) west and east of the PSL clearly prove the role of the PSL as facies boundry. The facies changes and strong power differences are reflected in the different D_K -, K- and D_E - values on both sides of the PSL.

7. The lower D_K -, K - and D_E - values for the Formazione Marnoso-Arenacea in comparison to those of the adjacent Modino-Cervarola-unit (1.35/1.92, 1.42/1.76 and 2.26/2.75) provide valuable indications of the autothonic position of the Formazione Marnoso-Arenacea.

8. A system of cordon-like and parallel river systems prevails within the examination area, which emphasizes the influence of the tectonic. The correlation of the direction distribution of the rift and drainage network confirms this finding. The larger rivers follow the large fault zones, while the subsiduary rivers flow along the small rifts and faults.

9. The tendency to the development of a dendritic river system in the areas between the larger rivers and the different D_E - values (drainage density) clearly show the influence of lithology on the drainage network.

10. The narrow areas of 1.75 - 2.50 for the drainage density in the Cantiere-Monghidoro-unit (Emilianides II) and in the Modino-Cervarola-unit (Emilianides I) is an indication of the lithological uniformity of the substratum of both these units. This finding confirms the concept of REUTTER & SAMES (1964) in amongst other things with respect to the existence of an Emilian facies.

11. The evaluation of the structural measurements resulted in a uniform, SW-NE directed utilisation plan for the para-autochthon and autochthon and a NW - SE directed utilisation plan for the allochthon.

12. The utilisation plan for the entire examination area will be discussed within the framework of a global utilisation plan.

11. LITERATURVERZEICHNIS

ABBATE, E., BORTOLOTTI, V., PASSERINI, P. & SAGRI, M. (1970): Development of the Northern Apennines geosyncline - The geosyncline concept in the Northern Apennines. - Sediment. Geol., 4, 625 - 636, Amsterdam

- , BORTOLOTTI, V., PASSERINI, P. & SAGRI, M. (1970): The Northern Apennines geosyncline and continental drift. - Sediment. Geol., 4, 3/4, Special Issue, 637 - 642, Leiden

- , SAGRI, M. (1970): The eugeosynclinal sequences.- Sediment. Geol., 4, 3/4, Special Issue, 251 - 340, Leiden

ADLER, R., FENCHEL, W. & PILGER, A. (1965): Statistische Methoden in der Tektonik I. Die gebräuchlichsten Darstellungsarten ohne Verwendung der Lagenkugelprojektion .- Clausthaler Tekt. H., 2, 97 S., Clausthal-Zellerfeld

- (1969): Statistische Methoden in der Tektonik II. Das Schmidtische Netz und seine Anwendung im Bereich des makroskopischen Gefüges.- Clausthaler Tekt. H., 4, 111 S., Clausthal-Zellerfeld

- , FENCHEL, W., MARTINI, H.-J. & PILGER, A. (1967): Einige Grundlagen der Tektonik II. Die tektonischen Trennflächen .- Clausthaler Tekt. H., 3, 94 S., Clausthal-Zellerfeld

ADLER, R., FENCHEL, W., HANNAK, W. & PILGER, A. (1969) : Einige Grundlagen der Tektonik I.- Clausthaler Tekt. H., 1 , 64 S., Clausthal-Zellerfeld

- , KRÜCKENBERG, F., PFISTERER, W., PILGER, A. & SCHMIDT, M.W. (1968) : Elektronische Datenverarbeitung in der Tektonik. - Clausthaler Tekt. H., 8 , 157 S., Clausthal-Zellerfeld

AMADESI, E. (1966) : Considerazioni generali sulla stratigrafia e l'evoluzione geologia dell'Apennino settentrionale fra L'Abetone e Castiglione dei Pepoli.- Giorn. Geol., Ann. Mus. geol. Bologna, Ser. 2 a, 34 (2), 1 - 34, Bologna 1967

AUBOUIN, J. (1965) : Developments in Geotectonics I : Geosynclines.- 335 S., Elsev. Publ. Comp., Amsterdam, London, New York

- , (1971) : Reflexion sur la tectonique de faille plioquaternaire.- Geol. Rdsch., 60 , 833-848, Stuttgart

BALDACCI, F., ELTER, P., GIANNINI, E., GIGLIA, G., LAZZAROTTO, A., NARDI, R. & TONGIORGI, M. (1967) : Nuove osservazioni sul problema della Falda Toscana e sulla interpretatione dei Flysch Arenacei tipo " Macigno " dell' Appennino Settentrionale.- Mem. Soc. Geol. It., 6 , 2, 213 - 244, Pisa

BEHRMANN, R.-B. (1936) : Die geotektonische Entwicklung des Apenninsystems.- Geotekt. Forsch., 12 , 1 - 99, Stuttgart

BLANCHET, P.-H. (1957) : Development of fracture analysis as exploration method.- Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., 41 , 1748 - 1759, Menasha

BOCCALETTI, M. & GUAZZONE, G. (1970) : La migrazione terziaria dei bacini toscani e la rotazione dell'Appennino Settentrionale in una " zone di torsione " per deriva continentale.-
Mem. Soc. Geol. It., 9, 157 - 176, Pisa

BODECHTEL, J. (1969) : Zur Methodik tektonischer Messungen in der geologischen Luftbildauswertung.-
Bildmess. & Luftbildwesen, 4 , 126 - 133, Karlsruhe

BORTOLOTTI, V. (1962) : Contributo alla conoscenza della stratigrafia della serie Pietraforte-Alberese.-
Boll. Soc. Geol. It., 81 , 225 - 304, Pisa

- (1966) : La tettonica trasversale dell'Appennino.
I. la Linea Livorno-Sillaro.- Boll. Soc. It., 85 , 529 - 540, Roma

- & PASSERINI, P. (1970) : Development of the Northern Appenines geosyncline-Magmatic activity.-
Sediment. Geol., 4 , 599 - 624, Amsterdam

BÜLOW, K. (1958 / 59) : Lunare und tellurische Fundamentaltektonik.
Wiss. Zeitschr. Univ. Rostock, Math.-Nat. Reihe, 8 , 1, Rostock

- , (1959) : Fundamentaltektonische Parallelen zwischen Mond und Erde.-
Fortschr. u. Forsch., 33 , 1, Rostock

CLOOS, H. (1948) : Grundschollen und Erdnähte. Geol. Rdsch., 35, Stuttgart

- , (1948) : Gang und Gehwerk einer Falte. - Z. Dtsch.Geol. Ges., 100 , Hannover

CREMONINI, G. & ELMI, C. (1971) : Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1 : 100 000, Foglio 98 " Vergato " Serv. Geol. It., 51 S., Roma

- (1971) : Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1 : 100 000, Foglio 99 " Faenza ".- Serv. Geol. It., 53 S., Roma

DAINELLI, G. (1951) : La tettonica del macigno e della formazione marnoso-arenacea romagnola fra Lizzano in Belvedere e Barberino di Mugello.- Boll. Soc. It., 70 , 389 - 401, Pisa

ELTER, P. (1960) : I lineamenti tettonici dell'Appennino a nord-ovest delle Apuane.- Boll. Soc. Geol. It., 79 , 273 - 312, Pisa

- , GIANNINI, E., TONGIORGI, M. & TREVISAN, L. (1960) : Le varie unita tettoniche della Toscana e della Liguria orientale .- Accad. Naz. Lincei, Rend. Cl. Sc. fis. e nat., (8), 29, 497-502, Roma

FLICK, H., QUADE, H. & STACHE, G.A. (1972) : Einführung in die tektonischen Arbeitsmethoden. Schichtenlagerung und bruchlose Verformung. - Clausthaler Tekt. H., 12 , 96 S., Clausthal-Zellerfeld

FLORES, G. (1959) : Evidence of slump phenomena (olisthostromes) in areas of hydrocarbon exploration in Sicily.- 5. World Petrol.Congr., Proc.Sec., 1 , 259 - 275, Roma

FREY, W. (1969) : Zur Geologie des Grenzgebietes Alta Romagna/Casentino (Prov. Forli, Pesaro, Arezzo) SE des Passo dei Mandrioli (Italien).- Diss. F.U. Berlin, 182 S.

GENTZ, P. (1970) : Geologische Untersuchungen im Raum Firenzuola, Passo della Raticosa und Passo della Futa, Prov. Firenze, Italien .- Unveröff. Dipl.-Arbeit, 94 S., F.U. Berlin

GHELARDONI, R. (1965) : Osservazioni sulla tettonica trasversale dell'Appennino settentrionale.- Boll. Soc. Geol. It., 84 , 277 - 290, Pisa

GILLILAND, W.N. (1964) : Extension of the theory of zonal rotation to explain global fracturing.- Nature, 202, 4939, 1276 - 1278, London

- (1973) : Zonal rotation and global tectonics.- Amer.Ass. Petrol. Geol. Bull., 57, 1, 210 - 214, Menasha

GÖRLER, K. & REUTTER, K.-J. (1964) : Die stratigraphische Einordnung der Ophiolithe des Nordapennins.- Geol. Rdsch., 53, 358 - 375, Stuttgart

- (1968) : Entstehung und Merkmale der Olisthostrome.- Geol. Rdsch., 57, 484 - 514, Stuttgart

GOLDBERG, G. (1965) : Zur Geologie des Nordapennins im Raum Pontremoli-Passo della Cisa (Prov. Massa / Carrara, Italien).- Diss. F.U. Berlin, 146 S., Berlin

GROSCURTH, J. (1971) : Zur Geologie der Randgebiete des westlichen Teils des Mugello-Beckens östlich der Prato-Sillaro-"Linie" (N-Apennin, Prov. Florenz).- Diss. F.U. Berlin, 210 S., Berlin

GROSCURTH, J. & HEMMER, C. (1973) : Die Prato-Sillaro-Linie, eine transversale Störungszone im Nordapennin und ihre Bedeutung als synsedimentäre Faziesgrenze.
N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 144 , 181 - 205, Stuttgart

GÜNTHER, K. (1966) : Zur Geologie der Zone zwischen den nördlichen Apuaner Alpen und dem Apennin-Hauptkamm.-
Diss. F.U. Berlin, 180 S., Berlin

- & RENTZ, K. (1968) : Contributo alla geologia della catena principale dell'Appennino tosco-emiliano tra Ligonchio, Civago e Corfino.- Aten. Parm., Acta Nat., 4 , 67 - 87, Parma

HAMAN, P.J. (1963) : Lineament analysis on areal photographics.-
West Caradian Research Publications of Geology and Related Sciences, Ser. 2, Numb. 1, Calgary (Alberta)

HELMCKE, D. (1970) : Erfassung steilachsiger Faltenstrukturen aus dem Luftbild am Beispiel der östlichen Klostertaler Alpen (Vorarlberg) .-
N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 9 , 527 - 542, Stuttgart

HEMMER, C. (1966) : Geologische Untersuchungen in einem Gebiet zwischen Treppio und Setta, Bolognese Apennin.-
Unveröff. Dipl.-Arbeit, 108 S., F.U. Berlin

- (1971) : Zur Geologie des Gebietes zwischen Lago di Suviana und Passo della Futa, Prov. Bologna und Firenze, Italien.-
Diss. F.U. Berlin, 247 S., Berlin

HEYMAN, H.F. (1968) : Zur Geologie der toskanischen und emilianischen Serien des Nordapennins im Bereich des oberen Panaro- und oberen Lima-Tales (Prov. Modena, Bologna, Pistoia).-
Diss. F.U. Berlin, 179 S., Berlin

HILL, R.T. (1915) : Texas lineament, in Ransome: The tertiary Orogeny of the North American Cordilleres.-
DANA Commemorative lectures, New Hawen

HOBBS, W.H. (1911) : Repeating patterns in the relief and in the structure of the land.-
Geol. Soc. Amer. Bull., 22 , 123 - 176, Baltimore

IBBEKEN, H. (1962) : Stratigraphie und Tektonik des nördlichen Abschnittes der Zone Sestri-Voltaggio und des angrenzenden Gebietes bis zum oberen Scrivia-Tal (Prov. Alessandria und Genua).-
Diss. F.U. Berlin, 116 S., Berlin

ILLIES, H. (1965) . Kontinentalverschiebung und Polverschiebung - Ursachen und Probleme.- Geol. Rdsch., 54 , 549 - 579, Stuttgart

KERTZ, W. (1969) : Einführung in die Geophysik I.-
232 S., Bibliographisches Institut, Mannheim

KNETSCH, G. (1965) . Über ein Strukturexperiment an einer Kugel und Beziehungen zwischen Groß-Lineamenten und Pol-Lagen in der Erdgeschichte.-
Geol. Rdsch., 54 , 523 - 548, Stuttgart

KRAMPE, K.D. (1964): Zur Geologie des Nordapennins zwischen Secchia und Enza.- Diss. F.U. Berlin, 161 S., Berlin

KRONBERG, P. (1967): Photogeologie. Eine Einführung in die geologische Luftbildauswertung.- Clausthaler Tekt. H., 6 , 235 S., Clausthal-Zellerfeld

LAUNAY, L. (1907): La metallogenie de l'Italie et des régions avoisinantes.- Congr. Intern. Geol., Mexico

LATTMAN, L.H. (1958): Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs.- Photogramm. Eng., 24 , 568 - 576, Menasha.

LIPPARINI, T. (1944): Studi stratigrafici e tettonici dell'Appennino settentrionale.- Boll. R. Uff. Geol. It., 69 , 33 - 108, Roma

LIST, F.K. (1968): Zur Technik der photogeologischen Auswertung im Kalkalpinen Bereich (Heiterwand-Gebiet, östlich Lechtaler Alpen, Tirol).- Geol. Rdsch., 58 , 196 - 219, Stuttgart

- (1969): Quantitative Erfassung von Kluftnetz und Entwässerungsnetz aus dem Luftbild.- Bildmess. & Luftbildwesen, 37 , 134 - 140, Karlsruhe

- & HELMCKE, D. (1970): Photogeologische Untersuchungen über lithologische und tektonische Kontrolle von Entwässerungssystemen im Tibesti-Gebirge (Zentral-Sahara, Tschad).- Bildmess. & Luftbildwesen, 5 , 273 - 278, Karlsruhe

LIST, F.K. & STOCK, P. (1969): Photogeologische Untersuchungen über Bruchtektonik und Entwässerung im Präkambrium des nördlichen Tibesti-Gebirge, Zentral-Sahara, Tschad.-
Geol. Rdsch., 59, 228 - 256, Stuttgart

LÖSCHKE, J. (1965): Stratigraphie und Tektonik des Gebietes zwischen dem oberen Parma- und dem oberen Enza-Tal im Nordapennin.-
Diss. F.U. Berlin, 123 S., Berlin

LOTTI, B. (1883) Sulla Posizione stratigrafica del macigno di Poretta.-
Boll. R. Comit. Geol., 14, 213 - 220, Roma

- (1894): Rilevamento geologico eseguito in Toscana nell'anno 1893.-
Boll. R. Comit. Geol., 25, 115 - 152, Roma

MALARODA, R. & RAIMONDI, G. (1957): Linee di dislocazione e sismicita' in Italia.-
Boll. Geodesia Sc. Aff., 16, 273 - 323, Firenze

MARKWICH, H. (1964): Geologische Untersuchungen im Gebiet von Corniglio, Prov. Parma, Nordapennin.-
Unveröff. Dipl.-Arbeit, 74 S., F.U. Berlin

MELTON, F.A. (1958): Geometric properties of mature drainage systems and their representation in E_4 phase space.-
J. Geol., 66, 35 - 56, Chicago

MERLA, G. (1951) : Geologia dell'Appennino settentrionale.-
Boll. Soc. Geol. It., 70 , 95 - 382, Roma 1952

- (1957) : Essay on the geology of the Northern Apennines.-
Accad. Naz. Linc., Atti Conv. 11, 1 - 29, Milano

- , BORTOLOTTI, V. & PASSERINI, P. (1967) : Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1 : 100 000 , Foglio 106 " Firenze ".- Serv. Geol. It., 61 S., Roma

MIGLIORINI, G. (1948) : I cunei composti nell'orogenesi.-
Boll. Soc. Geol. It., 67 , 49 - 142, Roma 1949

MOHR, K. & PILGER, A. (1965) : Das Nord-Süd-streichende Lineament von Elizondo in den westlichen Pyrenäen.-
Geol. Rdsch., 54 , 1044 - 1060, Stuttgart

MOODY, J.D. & HILL, M.J. (1956) : Wrench-fault tectonics.-
Geol. Soc. Amer. Bull., 67, 1207 - 1246, Baltimore

MURAWSKI, H. (1959) : Zur Frage durchgepauster Tektonik.-
Geol. Rdsch., 48 , 260 - 270, Stuttgart

POHLMANN, E. (1976) : Vergleichende photogeologische und geomorphologische Untersuchungen in den Gebieten Huayna Potosi, Apolo und Rurrenabaque (Departamente La Paz und Beni, Bolivien).-
Diss. F.U. Berlin, 202 S., Berlin

RAY, R.G. & FISCHER, W.A. (1960) : Quantitative photography - a geologic research tool.- Photogramm. Eng., 26 , 143 - 150, Menasha

RENTZ, K. (1971): Zur Geologie der Zone zwischen Secchia und dem Apennin-Hauptkamm (Prov. Modena und Reggio Emilia).- Diss. F.U. Berlin, 33 S., Berlin

REUTTER, K.-J. (1966): Der geotektonische Bauplan des Nordapennins unter Berücksichtigung neuer Ergebnisse aus dem Gebiet um Pievepelago (Modena).- Unveröff. Habil.-Schr., F.U. Berlin

- (1968): Die tektonischen Einheiten des Nordapennins.- Eclogae. geol. Helv., 61, 183 - 224, Basel

- (1969): La geologia dell'alto Appennino Modenese tra Civago e Fanano e considerazioni geotettoniche sull'unita di M. Modino-M. Cervarola.- Aten. Parm. Acta Nat., 5, 1 - 86, Roma

- & SAMES, C.W. (1962): Fazieszusammenhänge im Nordapennin.- Z. dt. geol. Ges., 114 , 620 - 646, Hannover 1964

RICHTER, M. (1958): Über Dehnung und Längung im Gebirge während der Faltung.- Geologie (Bubnoff-Gedenkschr.), 3 , 312 - 318, Berlin

- (1963): Der Bauplan des Apennins.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 9 , 509 - 518, Stuttgart

ROLAND, N.W. (1973): Die Anwendung der Photointerpretation zur Lösung stratigraphischer und tektonischer Probleme im Bereich von Bardi und Aozou (Tibesti-Gebirge, Zentral-Sahara).- Berliner Geogr. Abh., 19 , 48 S., Berlin

- (1974): Zur Entstehung der Trou-Au-Natron-Caldera (Tibesti-Gebirge, Zentral-Sahara) aus photogeologischer Sicht.- Geol. Rdsch., 63, 689 - 707, Stuttgart

ROLAND, N.W. (1976) : Tektonische Standardnetze und Beanspruchungspläne für Erde und Mars.- Geol. Rdsch., 65, 17 - 33, Stuttgart

SACCO, F. (1881) : L'Appennino settentrionale (parte centrale).- Boll. Soc. Geol. It., 10 , 945 - 954, Roma

- (1892) : L'Appennino settentrionale.- Boll. Soc. Geol. It., 10 , 731 - 956, Roma

- (1935) : Le direttrici tettonici trasversali dell'Appennino.- Rend. Acc. Naz. Linc., Cl. Sc. fis. Mat. Nat., 6 (22), 9-12, Roma

SACHS, L. (1968) : Statistische Auswertungsmethoden.- 671 S., Springer-Verlag, Berlin

SAMES, C.W. (1960) : Zur Geologie des Nordapennins im Raum Bedonia - Parma. - Diss. F.U. Berlin, 56 S., Berlin

SCHLÜTER, H.V. (1968) : Stratigraphie und Tektonik des Fensters von Bobbio und der auflagernden Decken (Prov. Piacenza, Italien).- Diss. F.U. Berlin, 144 S., Berlin

SCHOLLE, P.A. (1970) : The Sestri-Voltaggio Line : a transform fault induced tectonic boundary between the Alps and the Appennines.- Amer. J. Sci., 269 , 343 - 359, New Haven

SCHULZE, K.H. (1965) : Stratigraphie und Tektonik des Gebietes zwischen Valdena - Borgo val di Taro - Valmozzola, Prov. Parma/Nordappennin. Diss. F.U. Berlin, 132 S., Berlin

SESTINI, G. (1959) : Osservazioni geologiche sui Monti della Calvana (Firenze).- Boll. Soc. Geol. It., 78 , 207 - 231, Pisa

- , ed. (1970) : Development of the Northern Apennines Geosyncline.- Sedim. Geol., 4 , 3/4, Spec. Issue, 445 - 479, Leiden

- , (1970) : Postgeosynclinal deposition.- Sedim. Geol., 4 , 3/4, Spec. Issue, 481 - 520, Leiden

SIGNORINI, R. (1935) : Linee tettoniche trasversali nell'Appennino settentrionale.- Rand. Acc. Naz. Linc., 21, 42 - 45 , Roma

SITTER, L.U. de (1956) : Structural geology.- 551 S., Mc. Graw Hill Publ. Comp. Ltd., London

SONDER, R.A. (1938) : Die Lineament-Tektonik u.i. Probleme.- Eclogae Geol. Helv., 31, Basel

STAUB, R. (1933) : Zur tektonischen Analyse des Apennins.- Vierteljahres-Schr. Naturforsch. Ges., 78, 127 - 151, Zürich

STEINMANN, G. (1907) : Alpen und Apennin.- Monatsber. dt. geol. Ges., 59, 177 - 183, Berlin

STRUENSEE, G. (1967) : Zur Stratigraphie und Tektonik des oberen Reno-Tales (Prov. Bologna und Pistoia, Italien).- Diss. F.U. Berlin, 156 S., Berlin

STILLE, H. (1947) : Betrachtungen zum Werden des europäischen Kontinents (mit besonderer Berücksichtigung der Mittelmeer-Mjösen-Zone).- Z. dt. geol. Ges., 97, 7 - 29, Berlin 1945

STILLE, H. (1949) : Uralte Anlagen in der Tektonik Europas.-
Z. dt. geol. Ges., 99, 150 - 174, Berlin 1947

TEICHMÜLLER, R. (1935) : Der Deckenbau des Nordapennins zwischen Modina und Massa - Carrara.- Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., III Folge, 13, 181 - 186, Göttingen

THAMM, N. (1969) : Great Circles - the leading lines for jointing and mineralization in the upper earth's Crust.-
Geol. Rdsch. 58, 677 - 696, Stuttgart

TILMANN, N. (1926) : Tektonische Studien in der Catena-Metallifera Toskanas.- Geol. Rdsch., 17a (Steinmann-Festschr.), 631 - 660

- (1929) : Zum Bau der nördlichen Thyrrhenis.-
Geol. Rdsch. 20 , 390 S., Berlin

TRÜMPY, R. (1960) : Werdegang einer Geosynklinale.-
Geol. Rdsch., 50, 4-7, Stuttgart

VALDUGA, A. (1955) : Cenni preliminari sulla geologia della parte de Mugello posta a SO di Borgo S. Lorenzo e di S. Pietro a Sieva (Foglio 106 " Firenze ").- Boll. Serv. Geol. It., 76, 601 - 606, Roma

- (1957) : La Catena di M. Senario e il gruppo di M. Giovi.-
Boll. Serv. Geol. It., 78 , 637 - 682, Roma

WELLS, J.W. (1963) : Coral growth and geochronometry.-
Nature, 197 , 948 - 950, London

WIEDERMAYER, C. (1950) : Zur Geologie des Bolognese Apennins zwischen Reno- und Idice-Tal.- Eclogae geol. Helv., 43, 115 - 144, Basel

WIJKERSLOOTH, P. (1934) : Bau und Entstehung des Apennins, besonders der Gebirge Toskanas.- Geol. Inst. Amsterdam, 146 S.

WUNDERLICH, H.G. (1965 a) : Der gegenwärtige orogenetische Zustand der Apennin-Halbinsel.- Tectonophysics, 1, 495 - 516, Amsterdam

- (1965 b) : Maß, Ablauf und Ursachen orogener Einengung am Beispiel der Westalpen und des Nordapennins.- Geol. Rdsch., 55, 699 - 715, Stuttgart

- (1966) : Wesen und Ursachen der Gebirgsbildung.- Hochschultaschenbücher, Bibliogr. Inst., 339, 339 a 339 b, 367 S., Mannheim

- (1967) : Orogenfront-Verlagerung in Alpen, Apennin und Dinariden und die Einwurzelung strittiger Deckenkomplexe.- Geol. Mijnb., 46, 40 - 60

LEBENSLAUF

Am 1.8.1939 wurde ich in Khartoum / Sudan als Sohn des Beamten Sayed Ali Omar geboren.

Im März 1957 legte ich mein Abitur (Sudan School Certificate, Cambridge) in Khartoum ab. Anschließend besuchte ich das " Khartoum Technical Institute " Fachrichtung Kraftfahrzeugtechnik. Ende 1959 legte ich mit Erfolg die Ingenieur-Prüfung ab.

Von 1960 bis 1961 war ich als Praktikant (Maschinenbau) in Deutschland tätig. Anschließend besuchte ich das "Studien-Kolleg" für Ausländer in Hannover, wo ich die Hochschul-Reifeprüfung mit Erfolg ablegen konnte.

Von 1961 bis 1964 war ich an der T.H. Braunschweig, Fachrichtung Maschinenbau, immatrikuliert. 1966 wechselte ich zur Geologie an der F.U. Berlin über.

Die Diplom-Vorprüfung in Geologie habe ich im April 1970, die Diplom-Hauptprüfung im Februar 1973 abgelegt.
Die Arbeit an der Dissertation begann ich im Sommer 1974.

Meine akademischen Lehrer waren :
H. BRÜHL, W. Büsch, R. FRYDRYCH, K. GERMANN, P. GIESE, K. GÖRLER, G. Hahn, H. IBBEKEN, V. JACOBSHAGEN, K.F. JAHR, W. KÜHNE, C. KUHNERT, J. LIEDHOLZ, F.K. LIST, K.R. MEHNERT, M. RICHTER, H.J. SCHNEIDER, A. WILLGALLIS.

KLUFTROSEN-AUFNAHMEN

IM BEREICH DER PRATO-SILLARO-LINIE

AUFGENOMMEN VON OSMAN OMAR 1975

0 5 km

N

LEGENDE

- D1 Prato-Sillaro-Linie
- D2 Monghidoro-Einheit
- D3 Modino-Cervarola-Einheit
- D4 Modino-Cervarola-Einheit
- D5 Formazione-Marnoso-Arenacea
- Ophiolith, Radiolarit, Majolica (1: M Beni, 2: Sassa di Castro)
- (L) Luftbild
- (G) Gelände
- ▲ Gefüge-Messung

Lagaro
Monghidoro
Castiglione
Vernio
Barberino
Futa Pass
Panna
Firenzuola
PRATO
SILLARO
SILLARO-LINIE

PHOTOLINEATIONEN AUS LUFTBILDERN DES MAßSTABES 1:50 000 IM BEREICH DER PRATO-SILLARO-LINIE NORDAPENNIN, ITALIEN

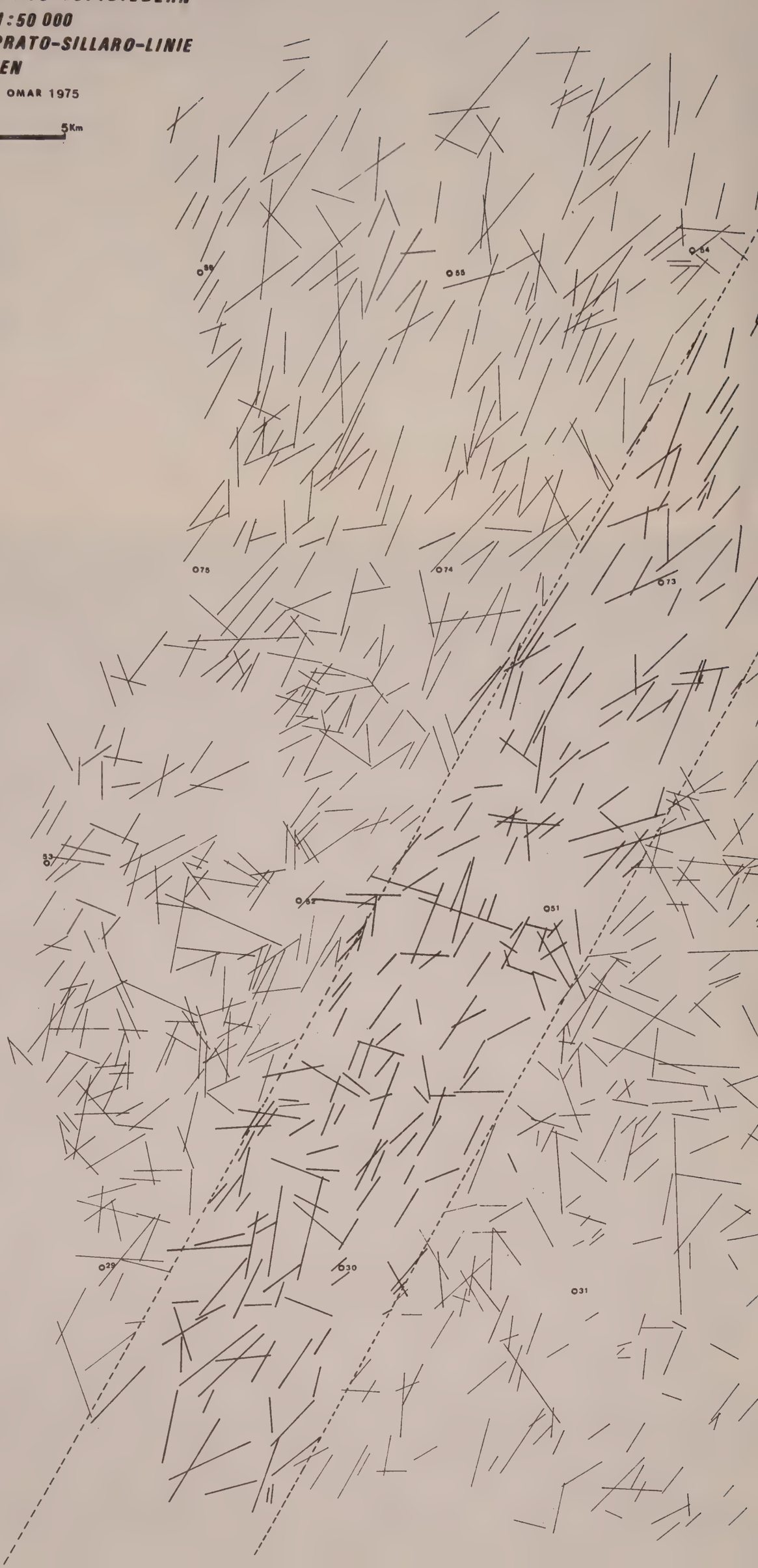
AUFGENOMMEN VON OSMAN OMAR 1975

0 5Km

N

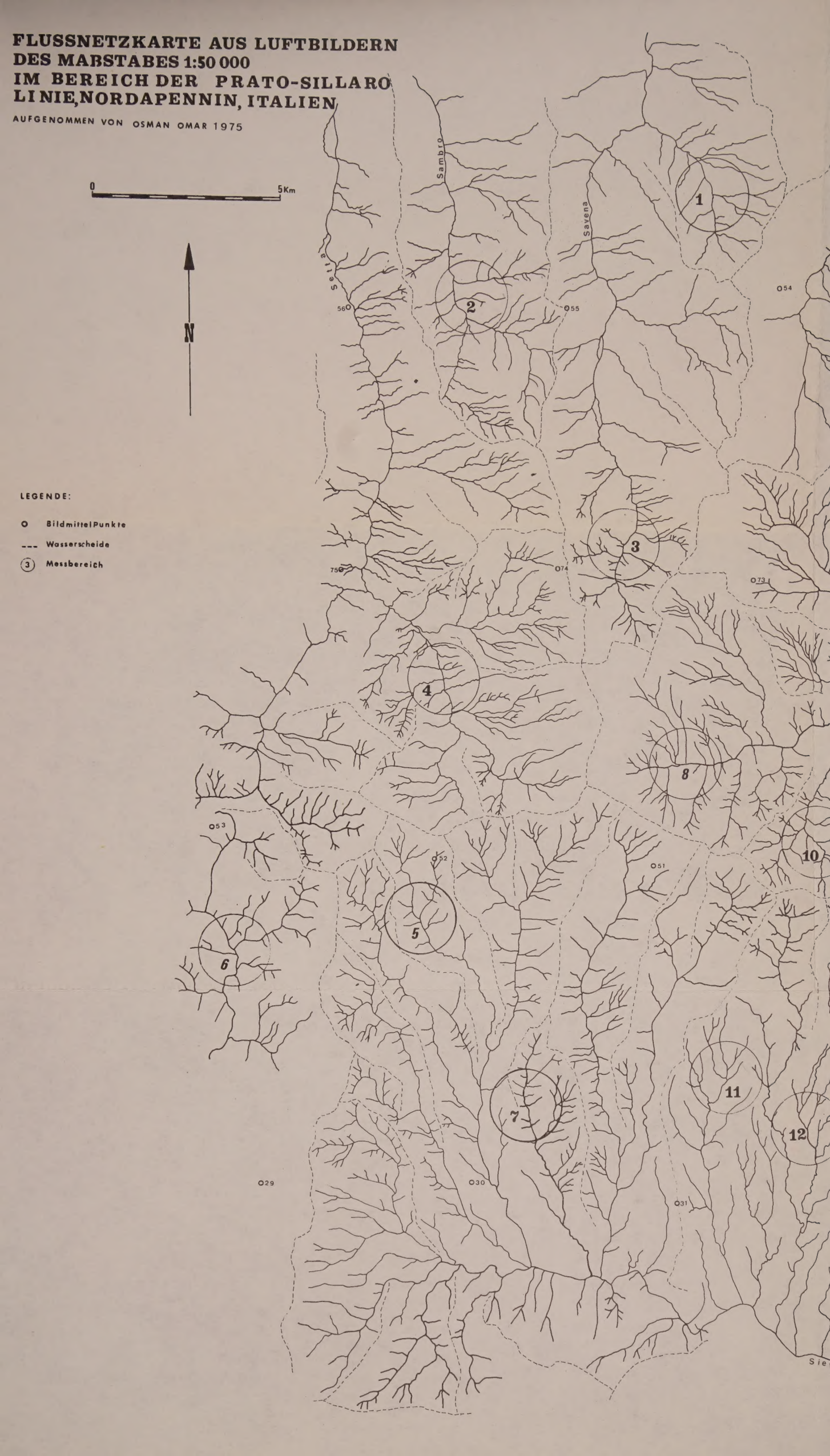
LEGENDE:

- Bildmittelpunkte
- Klüfte
- Prato-Sillaro - Linie



FLUSSNETZKARTE AUS LUFTBILDERN DES MAßSTABES 1:50 000 IM BEREICH DER PRATO-SILLARO LINIE, NORDAPENNIN, ITALIEN

AUFGENOMMEN VON OSMAN OMAR 1975



LEGENDE:

- O Bildmittelpunkte
- --- Wasserscheide
- (3) Messbereich